



Efeito do déficit hídrico na produção de feijão-frade (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

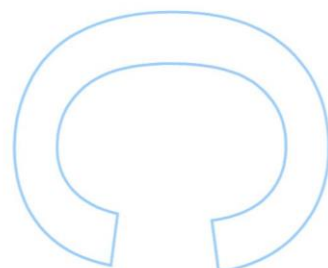
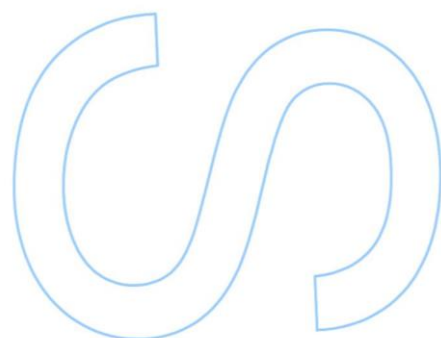
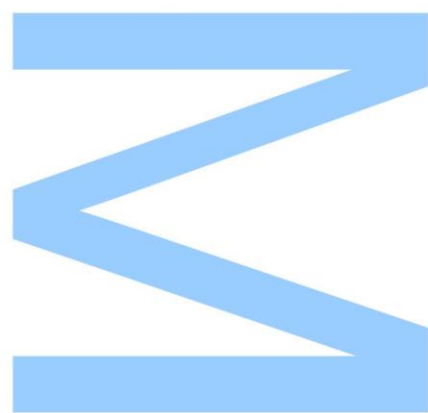
Abel Veloso

Mestrado em Engenharia Agronômica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2017

Orientadora

Maria Eugénia Nunes, Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências

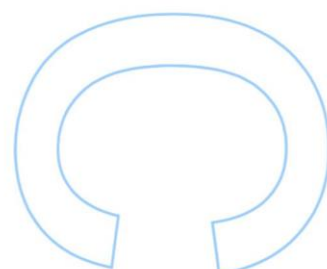
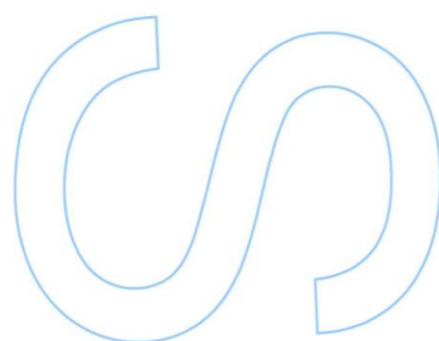
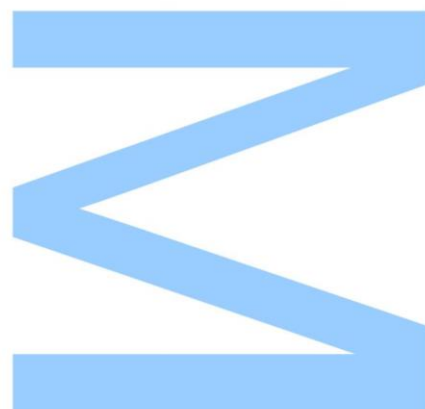




Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Foram várias as pessoas que me ajudaram neste trabalho e às quais gostaria de expressar a minha gratidão.

À Professora Doutora Maria Eugénia Nunes pela orientação, ensinamentos e disponibilidade.

À Fernanda Martins por toda a ajuda e boa vontade.

Ao Banco Português de Germoplasma Vegetal e, em particular à Eng.^a Ana Barata, pela oferta das sementes de duas das três variedades utilizadas.

Ao International Institute of Tropical Agriculture, pela oferta das sementes da terceira variedade utilizada.

Ao Professor Doutor Mário Cunha pela cedência do SPAD.

À Professora Doutora Susana Fonseca pelo empréstimo da estufa.

Aos meus pais por toda a ajuda.

À minha namorada por todo o carinho, ajuda e paciência.

Resumo

As leguminosas constituem uma das mais importantes fontes proteicas na alimentação humana e animal. Sendo previsível a ocorrência cada vez mais frequente de fenómenos climáticos extremos como períodos de temperaturas altas e de secas, as culturas que tolerem a escassez de água assumem um papel especialmente relevante. O feijão-frade (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) conjuga o elevado teor proteico com uma marcada tolerância ao déficit hídrico. Com este trabalho pretendeu-se estudar o efeito do déficit hídrico em diversos parâmetros relacionados com o crescimento/desenvolvimento, atividade fotossintética e produção de três variedades desta espécie.

Estudou-se o efeito de quatro tratamentos de déficit hídrico (controlo, déficit hídrico ocorrido durante as fases vegetativa e reprodutiva, restrito à fase vegetativa e restrito à fase reprodutiva) no desempenho de três variedades (V 1, V 2 e V 3) cultivadas em vasos.

A variedade V 2 apresentou um índice de colheita maior, uma biomassa total menor e um consumo de água menor do que a V 1. A variedade V 3 não completou o seu ciclo durante o tempo que durou o ensaio devido ao atraso no seu desenvolvimento, tendo o peso das sementes produzidas por planta sido inferior ao das restantes variedades.

O déficit hídrico restringiu o crescimento das plantas e o consumo de água, tendo sido o fecho dos estomas um dos mecanismos responsáveis, uma vez que se verificou a redução da condutância estomática. O déficit hídrico imposto apenas durante a fase vegetativa não provocou a diminuição do peso de sementes produzido por planta, o que resultou numa maior eficiência no uso da água. Por outro lado, o déficit hídrico ocorrido apenas na fase reprodutiva e o déficit que abrangeu ambas as fases estiveram associados a um menor peso das sementes produzidas por planta quando comparado com o grupo controlo que esteve em conforto durante todo o ensaio.

Este estudo permitiu compreender o efeito do déficit hídrico no desempenho de três variedades de feijão-frade.

Palavras-chave: atividade fotossintética, teor de clorofila, fenologia, eficiência no uso da água, índice de colheita, biomassa.

Abstract

The legumes are one of the most important protein sources in the human and animal diet. The occurrence of extreme climatic events, such as high temperature and drought periods, is likely to be more frequent. Consequently, crops capable of producing under such conditions might be used in the future. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) which combines high protein value with high tolerance to water deficit, is a candidate crop. This research is intended to understand the effect of the water deficit treatments upon different dependent variables related with plant development and production of three cowpea varieties (V 1, V 2 and V 3) grown in plastic pots.

Four treatments were implemented: control, stress occurring on both vegetative and reproductive phases, stress occurring only on vegetative phase, and stress occurring only on reproductive phase.

The long maturity variety V 3, could not reach maturity during the experiment period, therefore, its yield was smaller than the yield of the other varieties V 1 and V 2. In general, varieties V 1 and V 2 performed similarly, however, variety V 2 showed higher crop index, a smaller biomass and a smaller water use, compared with variety V 1.

It was noticed that water deficit has restricted the plant growth and plant water use. Since stomata conductance decreased on stressed plants, stomata closure could be one of the mechanisms responsible for plant stress response.

No reduction in yield was observed when plants were grown under water stress treatments during vegetative growth, implying a higher water use efficiency; however, a reduction was noticed, when stresses were applied either on both phases and on the reproductive phase alone.

This study was relevant to understand the effect of water stress on the performance of three varieties grown under four water stress treatments.

Key words: Cowpea, *Vigna unguiculata*, photosynthetic activity, chlorophyll content, growth stages, water use efficiency, crop index, biomass, yield.

Índice

Índice de figuras	xi
Índice de tabelas.....	xxi
Índice de equações.....	xxiii
1. Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1. Origem	3
2.2. Descrição botânica.....	4
2.3. Utilizações	7
2.4. Conteúdo nutricional	8
2.5. Fundamentos da tolerância ao déficit hídrico	10
2.6. Avaliação dos efeitos do déficit hídrico	13
3. Material e métodos	19
3.1. Material vegetal.....	19
3.2. Condições de crescimento	19
3.3. Procedimento experimental.....	20
3.4. Observações e registros.....	23
3.4.1. Crescimento/desenvolvimento	23
3.4.2. Atividade fotossintética	25
3.4.3. Produção	25
3.5. Análise estatística	28
4. Resultados.....	29
4.1. Crescimento/desenvolvimento	29
4.1.1. Altura das plantas	29
4.1.2. Água utilizada por dia.....	38
4.1.3. Abcisão foliar	45
4.1.4. Número de flores	51
4.1.5. Número de vagens.....	57

4.2. Atividade fotossintética	62
4.2.1. Taxa fotossintética	62
4.2.2. Taxa transpiratória	69
4.2.3. Condutância estomática.....	75
4.2.4. Concentração sub-estomática de CO ₂	81
4.2.5. Teor de clorofila	87
4.3. Produção	93
4.3.1. Biomassa total	93
4.3.2. Razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea.....	95
4.3.3. Número de sementes por planta	98
4.3.4. Número de vagens por planta	100
4.3.5. Número de sementes por vagem	103
4.3.6. Peso de mil sementes	105
4.3.7. Peso das sementes por planta	108
4.3.8. Peso das vagens por planta	111
4.3.9. Eficiência no uso da água (produção de sementes)	114
4.3.10. Eficiência no uso da água (produção de biomassa)	116
4.3.11. Índice de colheita	118
5. Discussão	121
6. Conclusão.....	125
7. Bibliografia.....	126

Índice de figuras

Figura 2.1. Produção de feijão-frade no mundo.	3
Figura 2.2. Flor de feijão-frade.	4
Figura 2.3. Vagens no final da maturação.	5
Figura 3.1. Variedades utilizadas no ensaio.	19
Figura 3.2. Tabuleiros semeados com as três variedades.	20
Figura 3.3. Bancadas.	20
Figura 3.4. Orifícios de drenagem tapados com fita adesiva.	21
Figura 3.5. Superfície do vaso coberta com folha de alumínio para restringir a evaporação.	21
Figura 4.1. Altura média das plantas das três variedades em função do seu estado fenológico.	29
Figura 4.2. Evolução do valor médio dos estados fenológicos da variedade V 1 para cada um dos tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) ao longo do ensaio.	30
Figura 4.3. Evolução do valor médio dos estados fenológicos da variedade V 2 para cada um dos tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) ao longo do ensaio.	30
Figura 4.4. Evolução do valor médio dos estados fenológicos da variedade V 3 para cada um dos tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) ao longo do ensaio.	31
Figura 4.5. Evolução do valor médio da altura das plantas ao longo do seu desenvolvimento.	32
Figura 4.6. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da altura das plantas.	32
Figura 4.7. Hábito trepador de uma planta da variedade V 2.	33
Figura 4.8. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da altura das plantas.	33

Figura 4.9. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da altura das plantas.	34
Figura 4.10. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (70 e 91 DAS) no valor médio da altura das plantas.	35
Figura 4.11. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (70 e 91 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da altura das plantas.	36
Figura 4.12. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (70 e 91 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da altura das plantas.	37
Figura 4.13. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (70 e 91 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da altura das plantas.	37
Figura 4.14. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (70 e 91 DAS) no valor médio da altura das plantas.	38
Figura 4.15. Folhas eretas numa das plantas do ensaio.	38
Figura 4.16. Evolução do valor médio da água utilizada por dia ao longo das medições efetuadas.	39
Figura 4.17. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da água utilizada por dia.	40
Figura 4.18. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da água utilizada por dia.	40
Figura 4.19. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da água utilizada por dia.	41
Figura 4.20. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) no valor médio da água utilizada por dia.	42
Figura 4.21. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da água utilizada por dia.	43

Figura 4.22. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da água utilizada por dia.....	43
Figura 4.23. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da água utilizada por dia.....	44
Figura 4.24. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (73 e 91 DAS) no valor médio da altura das plantas.	44
Figura 4.25. Evolução do valor médio da abscisão foliar ao longo das medições efetuadas.....	45
Figura 4.26. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da abscisão foliar.	46
Figura 4.27. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da abscisão foliar.....	46
Figura 4.28. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da abscisão foliar.	47
Figura 4.29. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 93 DAS) no valor médio da abscisão foliar.	48
Figura 4.30. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 93 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da abscisão foliar.....	49
Figura 4.31. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 93 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da abscisão foliar.....	49
Figura 4.32. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 93 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da abscisão foliar.....	50
Figura 4.33. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (73 e 93 DAS) no valor médio da abscisão foliar.	51
Figura 4.34. Evolução do número médio de flores ao longo das medições efetuadas.	52
Figura 4.35. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no número médio de flores.	52
Figura 4.36. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no número médio de flores.	53

Figura 4.37. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no número médio de flores.	54
Figura 4.38. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) no número médio de flores.	55
Figura 4.39. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 1, no número médio de flores.	55
Figura 4.40. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 2, no número médio de flores.	56
Figura 4.41. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (73 e 91 DAS) no número médio de flores.	56
Figura 4.42. Evolução do número médio de vagens ao longo das medições efetuadas...	57
Figura 4.43. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no número médio de vagens.	58
Figura 4.44. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no número médio de vagens.	58
Figura 4.45. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no número médio de vagens.	59
Figura 4.46. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) no número médio de vagens.....	60
Figura 4.47. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 1, no número médio de vagens.	61
Figura 4.48. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 2, no número médio de vagens.	61
Figura 4.49. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (73 e 91 DAS) no número médio de vagens.....	62
Figura 4.50. Evolução do valor médio da taxa fotossintética ao longo das medições efetuadas.....	63
Figura 4.51. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da taxa fotossintética.....	63

Figura 4.52. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da taxa fotossintética.	64
Figura 4.53. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da taxa fotossintética.	65
Figura 4.54. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da taxa fotossintética.	66
Figura 4.55. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da taxa fotossintética.	67
Figura 4.56. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da taxa fotossintética.	67
Figura 4.57. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da taxa fotossintética.	68
Figura 4.58. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da taxa fotossintética.	68
Figura 4.59. Evolução do valor médio da taxa transpiratória.	69
Figura 4.60. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da taxa transpiratória.	70
Figura 4.61. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da taxa transpiratória.	70
Figura 4.62. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da taxa transpiratória.	71
Figura 4.63. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da taxa transpiratória.	72
Figura 4.64. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da taxa transpiratória.	73
Figura 4.65. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da taxa transpiratória.	73
Figura 4.66. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da taxa transpiratória.	74

Figura 4.67. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da taxa transpiratória.	74
Figura 4.68. Evolução do valor médio da condutância estomática.	75
Figura 4.69. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da condutância estomática.	76
Figura 4.70. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da condutância estomática.	76
Figura 4.71. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da condutância estomática.	77
Figura 4.72. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da condutância estomática.	78
Figura 4.73. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da condutância estomática.	79
Figura 4.74. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da condutância estomática.	79
Figura 4.75. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da condutância estomática.	80
Figura 4.76. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da condutância estomática.	80
Figura 4.77. Evolução do valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂	81
Figura 4.78. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂	82
Figura 4.79. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂	82
Figura 4.80. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂	83

Figura 4.81. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂ .	84
Figura 4.82. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂ .	85
Figura 4.83. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂ .	85
Figura 4.84. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂ .	86
Figura 4.85. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da concentração sub-estomática de CO ₂ .	86
Figura 4.86. Evolução do valor médio do teor de clorofila.	87
Figura 4.87. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do teor de clorofila.	88
Figura 4.88. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do teor de clorofila.	88
Figura 4.89. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do teor de clorofila.	89
Figura 4.90. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (79 e 100 DAS) no valor médio do teor de clorofila.	90
Figura 4.91. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (79 e 100 DAS) para a variedade V 1 no valor médio do teor de clorofila.	91
Figura 4.92. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (79 e 100 DAS) para a variedade V 2 no valor médio do teor de clorofila.	91
Figura 4.93. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (79 e 100 DAS) para a variedade V 3 no valor médio do teor de clorofila.	92

Figura 4.94. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (79 e 100 DAS) no valor médio do teor de clorofila.	92
Figura 4.95. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da biomassa total.	93
Figura 4.96. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da biomassa total.....	94
Figura 4.97. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da biomassa total.	95
Figura 4.98. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea.....	96
Figura 4.99. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea.	96
Figura 4.100. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea.	97
Figura 4.101. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de sementes por planta.....	98
Figura 4.102. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do número de sementes por planta.....	99
Figura 4.103. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de sementes por planta.	100
Figura 4.104. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de vagens por planta.	101
Figura 4.105. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do número de vagens por planta.....	101
Figura 4.106. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de vagens por planta.....	102
Figura 4.107. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de sementes por vagem.....	103

Figura 4.108. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do número de sementes por vagem.....	104
Figura 4.109. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de sementes por vagem.	105
Figura 4.110. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso de mil sementes.	106
Figura 4.111. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do peso de mil sementes.	106
Figura 4.112. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso de mil sementes.	107
Figura 4.113. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso das sementes por planta.....	108
Figura 4.114. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do peso das sementes por planta.	109
Figura 4.115. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso das sementes por planta.....	110
Figura 4.116. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso das vagens por planta.....	112
Figura 4.117. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do peso das vagens por planta.	112
Figura 4.118. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso das vagens por planta.	113
Figura 4.119. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da eficiência no uso da água expresso em gramas de semente por litro de água utilizada.	114
Figura 4.120. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da eficiência no uso da água expresso em gramas de semente por litro de água utilizada.	115

Figura 4.121. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) na eficiência no uso da água expressa em gramas de semente por litro de água utilizada.	115
Figura 4.122. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da eficiência no uso da água expresso em gramas de biomassa total por litro de água utilizada.	116
Figura 4.123. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da eficiência no uso da água expresso em gramas de biomassa total por litro de água utilizada.	117
Figura 4.124. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) na eficiência no uso da água expressa em gramas de biomassa total por litro de água utilizada.	117
Figura 4.125. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do índice de colheita.	118
Figura 4.126. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do índice de colheita.	119
Figura 4.127. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do índice de colheita.	120

Índice de tabelas

Tabela 2.1. Conteúdo dos principais nutrientes presentes nas folhas e nas sementes cozidas de feijão-frade, expresso em massa por 100 g e em percentagem relativa à dose diária recomendada, calculada a partir dos valores provenientes do National Institute of Health (2016), referentes a adultos e crianças com mais de 4 anos, com uma ingestão média diária de 2000 calorias.	8
Tabela 2.2. Teor de aminoácidos das folhas frescas e das sementes e respetivas necessidades de um adulto. Valores expressos em g/16 g N.	9
Tabela 3.1. Variedades de feijão-frade estudadas.	19
Tabela 3.2. Valores máximos, mínimos e médios da temperatura e da humidade relativa, registados de 21 de fevereiro a 18 de julho de 2017, na estufa do Campus Agrário de Vairão onde decorreu o ensaio.	19
Tabela 3.3. Períodos em que foram aplicados os quatro tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) às plantas das três variedades estudadas (V 1, V 2 e V 3).	22
Tabela 3.4. Classificação dos estados fenológicos.	24
Tabela 4.1. Comparação entre o peso das sementes por planta previsto a partir das componentes de rendimento (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de mil sementes) e o medido, para as três variedades avaliadas (V 1, V 2 e V 3).	108
Tabela 4.2. Comparação entre o peso das sementes por planta previsto a partir das componentes de rendimento (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de mil sementes) e o medido para os quatro tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2).	109
Tabela 4.3. Comparação entre o peso das sementes por planta previsto a partir das componentes de rendimento (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de mil sementes) e o medido para os quatro tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2, para as variedades V 1 e V 2.	111

Índice de equações

Equação 2.1. Volume de água a aplicar em cada rega tal como definido por Duzdemir et al (2009).	16
Equação 2.2. Evapotranspiração total de cada vaso, tal como definido por Duzdemir et al. (2009).	16
Equação 3.1. Cálculo do volume de água gasto por dia.	23
Equação 3.2. Cálculo do peso de mil sementes.....	26
Equação 3.3. Cálculo da eficiência no uso da água (produção de sementes).....	27
Equação 3.4. Cálculo da eficiência no uso da água (produção de biomassa).....	27
Equação 3.5. Modelo testado para as variáveis dependentes relativas ao crescimento/desenvolvimento e à atividade fotossintética	28
Equação 3.6. Modelo testado para as variáveis dependentes relativas à produção.....	28

1. Introdução

A população mundial está em crescimento. Por volta de 2050 prevê-se que atinja os 9,1 mil milhões de habitantes, o que representa um acréscimo de aproximadamente 25% relativamente à população atual (Alexandratos e Bruinsma, 2012). Para que a produção agrícola acompanhe esse crescimento demográfico estima-se que tenha de aumentar, em média, cerca de 60% entre 2005 e 2050 (Alexandratos e Bruinsma, 2012).

De acordo com o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas, é previsível a ocorrência cada vez mais frequente de fenómenos climáticos extremos devido ao aumento da concentração atmosférica de gases com efeito de estufa. Destacam-se os períodos de temperaturas altas e de secas e a consequente diminuição das reservas hídricas superficiais e subterrâneas. Trata-se de algo preocupante já que a falta de água é um dos fatores que mais limita o crescimento das plantas e a sua produtividade (Kovats et al., 2014; LPN, 2014; Martins, 2014).

As necessidades de irrigação serão, provavelmente, mais altas. No entanto, o regadio agrícola será previsivelmente mais caro devido, não só à diminuição da disponibilidade de água, mas também pelo aumento da competição por este recurso com outros setores de atividade (Kovats et al., 2014; LPN, 2014). Dessa forma, as culturas que melhor tolerem a escassez de água e, em particular, as leguminosas pela sua importância como fonte proteica, assumem um papel fulcral no aprovisionamento alimentar.

O feijão-frade (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa originária do continente africano muito tolerante a temperaturas altas, à baixa disponibilidade de água e a solos pouco férteis (Dadson et al., 2005; Timko et al., 2007). Embora em Portugal o seu cultivo e o seu consumo não sejam particularmente elevados, é uma cultura muito importante em diversas regiões do globo, muitas delas situadas em países em desenvolvimento com dietas pobres em proteínas, tanto mais que o teor deste nutriente nas sementes pode exceder os 25% (Timko et al., 2007; Agbicodo et al., 2009). Além disso, as variedades de ciclo mais curto, que pode ser de apenas 55 dias, contribuem para minorar a escassez de alimentos que por vezes surge antes do período das colheitas (Timko et al., 2007).

Todas as partes da planta podem ser utilizadas na alimentação. De facto, é comum o consumo de folhas e raízes em diversas regiões de África e de vagens na Ásia (Timko et al., 2007; Royal Botanic Gardens, s.d.). Além disso, complementa a alimentação animal em diversas partes do mundo e, devido à simbiose com bactérias fixadoras de azoto,

contribui para melhorar a fertilidade do solo, sendo por isso útil em rotações de culturas (Timko et al., 2007; Royal Botanic Gardens, s.d.).

Em 2014, a área total ocupada por esta cultura foi de 12 610 956 ha, com uma produção total de 5 589 216 t, o que resulta numa produtividade de, aproximadamente, 443 kg/ha (FAO, 2016). Cerca de 96% da produção mundial está concentrada em África, sendo a Nigéria, o Níger e o Burkina Faso os países com maior produção. Desses, a Nigéria é o principal produtor com pouco mais de 38% do total (FAO, 2016). Prevê-se um aumento da produção mundial para 9,8 milhões de toneladas em 2020 e para 12,3 milhões de toneladas em 2030 (Fatokun et al, 2002; Boukar et al., 2016).

A Europa detém apenas 0,4% da produção desta cultura. No entanto, como a produção total em 2014 foi de 24 586 t numa área de 7 267 ha, a produtividade (3,4 t/ha) é consideravelmente superior à média global (FAO, 2016).

Com este trabalho pretendeu-se determinar o efeito do déficit hídrico no crescimento, desenvolvimento, atividade fotossintética e produção de três variedades de feijão-frade. Para isso essas três variedades foram submetidas a quatro tratamentos. Num deles (R 0) as plantas foram mantidas em conforto hídrico durante todo o ensaio. No R 1, o déficit hídrico foi imposto durante todo o ensaio; no R 2.1 apenas na fase vegetativa e no R 2.2 apenas na fase reprodutiva.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Origem

Atualmente as variedades silvestres de feijão frade existem apenas em África, tendo sido no Nordeste desse continente que ocorreu a domesticação da cultura há mais de 5000 anos (Timko et al., 2007; Royal Botanic Gardens, s.d.). A *Vigna unguiculata* ssp. *unguiculata* var. *spontanea* é provavelmente a origem de todas as variedades cultivadas (Timko et al., 2007).

É uma das culturas mais importantes das savanas da África Ocidental e Central, onde também é utilizado como hortícola e planta forrageira (Royal Botanic Gardens, s.d.). Atualmente, a maior parte das variedades desta espécie pode ser encontrada na África Ocidental, nas savanas do Burquina Faso, do Gana, Togo, Benim, Níger, Nigéria e Camarões (Royal Botanic Gardens, s.d.). Ainda durante o Neolítico esta cultura foi introduzida na Índia que passou a ser um segundo centro de diversidade genética desta espécie (Timko et al., 2007).

O feijão-frade tem sido cultivado no Sul da Europa pelo menos desde o século VIII a.C. Foi introduzido nas Índias Ocidentais no século XVI e levado para o continente americano no século XVII, onde se distribuiu rapidamente (Timko et al., 2007; Royal Botanic Gardens, s.d.). Atualmente a produção concentra-se maioritariamente em África, na Ásia (China e Myanmar) nos Estados Unidos da América e na Bolívia (Fig. 2.1).

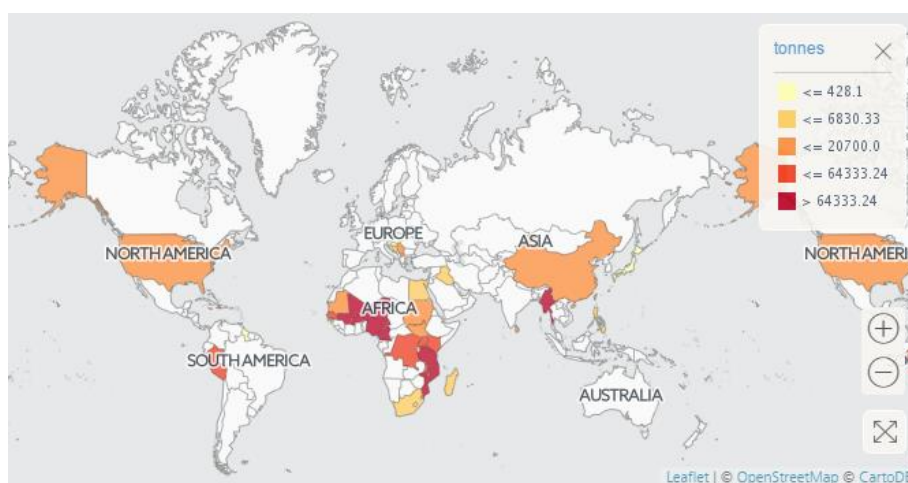


Figura 2.1. Produção de feijão-frade no mundo (FAO, 2016).

2.2. Descrição botânica

O feijão-frade (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) ($2n=2x=22$) é uma planta herbácea C 3 da família Fabaceae (Leguminosae). Embora tenha semelhanças com o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) tem geralmente uma aparência mais robusta, o sistema radicular mais desenvolvido e o caule e ramos mais grossos (Badiane et al., 2003; Timko et al., 2007).

O ciclo de vida da planta pode ir desde 60 até mais de 150 dias (Timko et al., 2007). O seu hábito de crescimento pode ser ereto, semi-ereto, prostrado ou trepador dependendo, principalmente, da variedade. Em geral o crescimento é indeterminado (Timko et al., 2007; Royal Botanic Gardens, s.d.).

As folhas são compostas por três folíolos e o pecíolo tem entre 15 e 25 cm de comprimento (Royal Botanic Gardens, s.d.).

A cor flores (Fig. 2.2) é variável sendo o violeta e o branco exemplos comuns (Royal Botanic Gardens, s.d.). As flores são papilionáceas e estão organizadas no topo de uma haste não ramificada (rácimo) com 1,5 a 4,0 cm e que surge na axila das folhas. Cada flor contém dez estames (nove fundidos e um livre) e o ovário tem cerca de 1,5 cm de comprimento (Royal Botanic Gardens, s.d.).



Figura 2.2. Flor de feijão-frade.

O fruto consiste numa vagem com 8 a 30 cm, embora nalguns casos possa chegar aos 120 cm. Habitualmente desenvolvem-se duas ou três vagens por pedúnculo. No entanto, esse número possa ser maior se as condições edafoclimáticas forem favoráveis. A vagem madura tem uma cor castanho-claro (Fig. 2.3) e contém entre oito e trinta sementes. As sementes são oblongas a globosas com 0,5 a 1 cm e, nalgumas variedades, podem ter o formato de um rim. O tegumento pode ser liso ou enrugado e apresentar uma cor uniforme ou organizada em padrões, sendo as cores mais comuns o preto, o castanho, o rosa e o branco. O hílio é oblongo e encontra-se coberto por um tecido branco que, por vezes, é rodeado por uma faixa escura. O peso de mil sementes é variável, rondando os 100 g (Timko et al., 2007; Royal Botanic Gardens, s.d.).



Figura 2.3. Vagens no final da maturação.

Como a emergência é epígea, a plântula é sensível a danos nos cotilédones já que a planta não se regenera abaixo do nó cotiledonar (Timko et al., 2007). A autopolinização é preponderante não sendo frequente a polinização cruzada ultrapassar os 5% (Timko et al., 2007).

Nalgumas variedades, o início da fase reprodutiva depende do fotoperíodo. Dependendo do genótipo, o grau de sensibilidade ao fotoperíodo pode depender da temperatura (Timko et al., 2007). Esta sensibilidade ao fotoperíodo pode fazer com que a época de colheita coincida com condições meteorológicas desfavoráveis, independentemente da data de sementeira. Dessa forma pode ser útil selecionar plantas menos dependentes ao fotoperíodo, o que permitiria antecipar a data da colheita antecipando a data da sementeira.

As variedades dividem-se em cinco grupos que podem hibridizar entre si e cuja classificação depende, principalmente, das características das sementes e das vagens (Timko et al., 2007):

- Unguiculata;
- Melanophtalmus;
- Biflora;
- Textilis;
- Sesquipedalis.

O grupo Unguiculata é o que contém mais variedades. As forrageiras fazem parte deste grupo, assim como a maior parte das variedades africanas de sementes com calibres médio a grande (Timko et al., 2007).

As variedades com coloração em volta do hílio pertencem ao grupo Melanophtalmus. Habitualmente têm vagens frágeis e sementes alongadas e com o tegumento rugoso. A flor destas variedades é normalmente branca (Royal Botanic Gardens, s.d.).

O grupo Biflora é comum na Índia. As suas vagens são curtas e mantêm-se eretas até à maturação. As sementes são pequenas e o tegumento é liso (Timko et al., 2007).

As variedades vocacionadas para fibra pertencem ao grupo Textilis. São raras e surgem exclusivamente em África (Timko et al., 2007).

As variedades do grupo Sesquipedalis são comuns na Ásia e são cultivadas principalmente pelas suas vagens longas (40 a 100 cm) que são utilizadas em verde. A evolução das variedades deste grupo ocorreu provavelmente na Ásia (Timko et al., 2007).

2.3. Utilizações

O feijão-frade é cultivado principalmente pelas suas sementes secas. No entanto todas as partes da planta podem ser incluídas na alimentação (Royal Botanic Gardens, s.d.).

As sementes podem ser utilizadas inteiras ou trituradas (Royal Botanic Gardens, s.d.). Nos Estados Unidos da América, as sementes verdes tostadas são consumidas como os amendoins. As sementes torradas são também utilizadas na confeção de bebidas semelhantes ao café (Royal Botanic Gardens, s.d.).

Nalgumas regiões de África, comem-se as folhas cozidas ou fritas e recorre-se por vezes à secagem como forma de conservação (Timko et al., 2007; Martins et al., 2014; Royal Botanic Gardens, s.d.).

A utilização culinária das vagens é mais comum na Ásia do que em África e é semelhante à do feijão verde. Por outro lado, nalguns países africanos como a Etiópia e o Sudão, é habitual consumirem-se as raízes (Timko et al., 2007; Royal Botanic Gardens, s.d.).

A utilidade do feijão-frade não se restringe à culinária. Na África Ocidental, Austrália e Ásia esta cultura é incorporada na alimentação animal, não só em pastagens e forragens mas também em misturas com cereais. Na Nigéria algumas variedades são cultivadas para o fabrico de cordas e de papel (Royal Botanic Gardens, s.d.). Tal como noutras leguminosas, a simbiose que estabelece com bactérias do género *Rhizobium*, é responsável pela incorporação de azoto no solo (Martins et al., 2014).

2.4. Conteúdo nutricional

As sementes são a parte mais consumida desta cultura. No entanto, as folhas são também utilizadas na alimentação, especialmente em diversas regiões de África.

A Tabela 2.1 resume o principal conteúdo nutricional das folhas e sementes de feijão-frade. Como se pode observar, as folhas cozidas são especialmente ricas em β-caroteno (6,5 mg/100 g), em cálcio (132 mg/100 g) e em ferro (4,7 mg/100 g). Como comparação, refere-se que a cenoura contém 5,6 mg/100 g de β-caroteno e que o leite de vaca UHT meio-gordo contém 110 mg/100 g de cálcio (PortFIR, s.d.).

As sementes cozidas possuem um teor considerável de proteínas (5,1 g/100 g), de folato (0,21 mg/100 g), de tiamina (0,36 mg/100 g), de fósforo (95 mg/100 g), de magnésio (53,0 mg/100 g), de manganês (0,5 mg/100 g), de potássio (478 mg/100g) e de zinco (2,2 mg/100g).

Tabela 2.1. Conteúdo dos principais nutrientes presentes nas folhas e nas sementes cozidas de feijão-frade, expresso em massa por 100 g e em percentagem relativa à dose diária recomendada, calculada a partir dos valores provenientes do National Institute of Health (2016), referentes a adultos e crianças com mais de 4 anos, com uma ingestão média diária de 2000 calorias. Adaptado de Nielssen et al. (1997) e de Condé Nast (2014).

	Folhas		Sementes	
	Concentração (mg/100 g)	% Dose diária recomendada	Concentração (mg/100 g)	% Dose diária recomendada
Hidratos de carbono	n.d.*	n.d.	13 800	4,6%
Lípidos (total)	300	0,5%	300	0,5%
Proteínas	3200	6,4%	5100	10,2%
Ácido ascórbico	6	10,0%	n.d.	n.d.
β-caroteno	6,5	216,7%	0,01	0,3%
Folato	n.d.	n.d.	0,21	52,5%
Niacina	n.d.	n.d.	0,4	2,0%
Riboflavina	n.d.	n.d.	0,04	2,4%
Tiamina	n.d.	n.d.	0,36	24,0%
Cálcio	132	13,2%	17	1,7%
Cobre	n.d.	n.d.	0,5	23,0%
Ferro	4,7	26,1%	1,3	7,2%
Fósforo	41	4,1%	95	9,5%
Magnésio	n.d.	n.d.	53,0	13,2%
Manganês	n.d.	n.d.	0,5	25,0%
Potássio	n.d.	n.d.	478	14,0%
Zinco	n.d.	n.d.	2,2	15,0%

* Dados não disponíveis.

As folhas têm um teor especialmente elevado dos aminoácidos essenciais leucina (13,4 g/16 g N), lisina (9,5 g/16 g N), isoleucina (6,6 g/16 g N), treonina (6,6 g/16 g N) e valina (6,1 g/16 g N; Tab. 2.2). Relativamente aos aminoácidos não essenciais, destacam-se os ácidos glutâmico e aspártico (15,9 e 11,6 g/16 g N, respetivamente).

Por outro lado, tal como nas folhas, os aminoácidos essenciais leucina e lisina (7,6-8,5 e 6,6-8,1 g/16 g N, respetivamente) e os não essenciais ácido glutâmico e ácido aspártico (16,2-18,7 e 10,7-12,9 g/16 g N, respetivamente) são os preponderantes nas sementes.

Tabela 2.2. Teor de aminoácidos das folhas frescas e das sementes e respetivas necessidades de um adulto. Valores expressos em g/16 g N. Adaptado de Nielsen et al. (1997).

	Folhas	Sementes	Necessidades de um adulto
Essenciais			
Cisteína	≈0	n.d.*	-
Fenilalanina	6,1	5,5-6,2	1,9 (Fenilalanina + Tirosina)**
Histidina	4,1	2,9-4,7	1,6
Isoleucina	6,6	4,2-4,8	1,3
Leucina	13,4	7,6-8,5	1,9
Lisina	9,5	6,6-8,1	1,6
Metionina	5,0	1,5-2,3	1,7 (Metionina + Cisteína)***
Tirosina	4,5	2,2-3,6	-
Treonina	6,6	3,6-4,5	0,9
Triptofano	n.d.	n.d.	0,5
Valina	6,1	4,9-5,7	1,3
Não essenciais			
Ácido aspártico	11,6	10,7-12,9	
Ácido glutâmico	15,9	16,2-18,7	
Alanina	7,5	4,1-4,8	
Arginina	4,7	5,4-8,0	
Glicina	8,0	3,8-4,6	
Prolina	n.d.	3,2-4,9	
Serina	9,5	4,1-5,6	

* Dados não disponíveis.

** As necessidades destes dois aminoácidos são habitualmente contabilizadas em conjunto porque a tirosina pode substituir aproximadamente 50% das necessidades de fenilalanina (National Research Council (US) Subcommittee on the Tenth Edition of the Recommended Dietary Allowances, 1989).

*** As necessidades destes dois aminoácidos são habitualmente contabilizadas em conjunto porque a cisteína pode substituir aproximadamente 30% das necessidades de metionina (National Research Council (US) Subcommittee on the Tenth Edition of the Recommended Dietary Allowances, 1989).

2.5. Fundamentos da tolerância ao déficit hídrico

O déficit hídrico ocorre quando a água que é perdida por transpiração excede a que é absorvida pelas raízes. Tem um impacto negativo na atividade fotossintética, interferindo na eficiência da cadeia de transporte de eletrões do fotossistema II. Consequentemente afeta negativamente a atividade do fotossistema I e, em última análise, o ciclo de Calvin e a produção de hidratos de carbono (Martins, 2014). Nas leguminosas, para além de limitar a assimilação de carbono, diminui também a fixação de azoto pelas raízes. No feijão-frade contribui para o aumento da temperatura da canóia e para a redução do teor de amido, do número de vagens e do número de sementes por planta (Martins, 2014). Adicionalmente, o *stress* hídrico que surge como consequência do baixo teor de água no solo provoca a formação de espécies reativas de oxigénio danificam os tecidos vegetais. A reparação desses tecidos requer a mobilização de fotoassimilados o que, em geral, leva à diminuição do rendimento da cultura (Wang et al., 2013).

A tolerância das plantas ao déficit hídrico pode ser definida como a sua capacidade em crescerem, viverem e terem uma produtividade aceitável com uma reserva de água limitada de forma permanente ou esporádica (Agbicodo et al., 2009; Verbree, 2012; Martins, 2014). Trata-se de uma característica complexa pois depende de diversos fatores, alguns independentes, outros que interagem entre si (Agbicodo et al., 2009). O potássio desempenha um papel importante, na medida em que participa na regulação estomática, na manutenção da estabilidade membranar, no ajuste osmótico das células e na translocação de fotoassimilados para a raiz contribuindo para o desenvolvimento radicular e potenciando, dessa forma, a absorção de água (Wang et al., 2013).

Os mecanismos com que as plantas lidam com o déficit hídrico podem ser classificados em três grupos: fuga, evitamento e tolerância (Agbicodo et al., 2009).

O primeiro envolve um desenvolvimento fenológico rápido (como por exemplo uma floração e maturação temporãs), associado geralmente à capacidade de fazer variar o período de crescimento em função da disponibilidade hídrica e à capacidade de remobilizar fotoassimilados acumulados antes da floração (Agbicodo et al., 2009). O desempenho das variedades mais temporãs, cujo ciclo produtivo pode ser de 60 a 70 dias (Martins, 2014), em regiões onde os períodos de seca surgem de forma intermitente, não estando associados a uma época específica, pode ser fraco (Agbicodo et al., 2009; Martins, 2014). No entanto, existem muitas situações em que estas variedades trazem vantagens ao agricultor (Agbicodo et al., 2009). São úteis quando esse período de baixa disponibilidade de água está bem definido numa época posterior à da maturação da cultura (Agbicodo et

al., 2009). Por outro lado, podem evitar o ataque de pragas e doenças que apresentem uma sazonalidade importante e são normalmente mais valorizados pelo mercado (Agbicodo et al., 2009; Martins, 2014).

A estratégia de evitamento mantém o potencial de água dos tecidos relativamente elevado, apesar de um teor de água no solo baixo. Pode ocorrer devido ao aprofundamento radicular; ao aumento na eficiência de absorção de água; à redução das perdas de água, por redução da condutância estomática e lenticular, por exemplo, ou pela diminuição da interceção da radiação solar, através do enrolamento das folhas ou pelo posicionamento do caule numa postura mais ereta (Agbicodo et al., 2009). A área foliar pode ser também diminuída através da queda das folhas mais velhas e pelo desenvolvimento de folhas jovens com uma superfície menor (Martins, 2014). O fecho dos estomas leva geralmente a um aumento da eficiência no uso da água e pensa-se que é controlado pelo ácido abscísico produzido pelas raízes que altera o fluxo de iões nas células guarda (Martins et al., 2014). A biossíntese de ácido abscísico nas raízes aumenta quando o teor de água nas folhas baixa (Martins, 2014).

As plantas que apresentam tolerância ao déficit hídrico suportam teores baixos de água no solo mesmo com baixos potenciais de água nos tecidos. O turgor celular é mantido através de um ajuste osmótico, do aumento da elasticidade das células, da diminuição do seu volume e do aumento da resistência protoplasmática (Agbicodo et al., 2009).

O ajuste osmótico baseia-se na acumulação de solutos com baixa toxicidade no citoplasma como por exemplo prolina, poliaminas e poliois. No entanto, a diminuição do teor de água leva necessariamente ao aumento da concentração de outros solutos que podem, eventualmente, atingir níveis elevados de toxicidade (Agbicodo et al. 2009; Martins. 2014).

O resultado exato da interação dos diversos mecanismos de resistência a condições de baixos teores de humidade no solo ainda é largamente desconhecido. No entanto sabe-se que estes mecanismos de adaptação têm geralmente consequências negativas na produtividade das culturas pois um ciclo de desenvolvimento mais curto, as restrições à perda de água por fecho dos estomas e a redução da área foliar exposta levam, em geral, à diminuição da produção de fotoassimilados (Agbicodo et al., 2009).

A tolerância ao déficit hídrico tem uma base genética não havendo, todavia, uma correlação entre essa resistência e o fenótipo nas fases iniciais da plântula (Agbicodo et al., 2009). Por outro lado, as variedades que apresentam elevadas produtividades tendem a ter também elevadas taxas fotossintéticas, associadas a uma maior abertura dos

estomas permitida por estratégias alternativas de gestão do déficit hídrico como o controlo osmótico e a mobilização seletiva de reservas. Essas estratégias levam geralmente a maiores taxas de sobrevivência à falta de água, bem como a recuperações mais rápidas no caso desse déficit diminuir (Agbicodo et al., 2009; Martins, 2014).

A maior abertura dos estomas em condições de escassez de água leva a uma maior taxa de trocas gasosas, o que contribui não só para aumentar a concentração interna de dióxido de carbono (com o consequente aumento na produção de fotoassimilados), mas também para diminuir a temperatura da planta através do aumento da transpiração. Além disso, poderá ser um dos motivos pelos quais o feijão-frade apresenta uma menor diminuição da taxa fotossintética em condições de déficit hídrico relativamente, por exemplo, ao feijão comum (Agbicodo et al., 2009).

Adicionalmente, o feijão-frade tem a capacidade de diminuir o ângulo das suas folhas relativamente à radiação incidente nas alturas em que a temperatura é mais elevada e a disponibilidade de água é mais baixa diminuindo, assim, a perda de água por transpiração (Akyeampong, 1986; Hayatu e Mukhtar, 2010).

A tolerância ao déficit hídrico nas leguminosas está muito relacionada com o tipo de sistema radicular, com a sua arquitetura e com o seu desenvolvimento (Martins, 2014). Pode estar associada a uma maior relação matéria seca radicular/área foliar, provocada por um aprofundamento radicular (Martins, 2014). Os mecanismos de adaptação levam geralmente a uma diminuição do potencial produtivo relativamente ao ótimo biológico (Martins, 2014):

- (1) As variedades mais temporãs geralmente têm menores produtividades relativamente a variedades mais tardias devido, por exemplo, ao menor espaço de tempo disponível para acumularem fotoassimilados;
- (2) Os mecanismos associados à resistência ao déficit de água, como o fecho dos estomas e a diminuição da área foliar, provocam uma diminuição do carbono assimilado e o aumento da temperatura foliar que, por exemplo, prejudica o desempenho da fotossíntese e, em particular, do fotossistema II (Shah e Paulsen, 2003).

2.6. Avaliação dos efeitos do déficit hídrico

Embora alguns autores refiram ensaios de campo (Dadson et al. (2005) e Ahmed e Suliman (2010), por exemplo), a maior parte dos ensaios da bibliografia pesquisada foi realizada em vaso.

Os ensaios de campo são geralmente organizados em *split-plot*, com os blocos principais a agruparem os diversos tratamentos e as variedades organizadas nos sub-blocos (Dadson et al., 2005; Ahmed & Suliman, 2010).

A duração do ensaio é variável de acordo com o fim pretendido e com o local em que é realizado:

- (1) 10 de junho a 16 de setembro, i. e., 99 dias (Duzdemir et al., 2009);
- (2) 17 de novembro a 23 de dezembro, i. e., 37 dias (Hayatu e Mukhtar, 2010);
- (3) Agosto a outubro (Abdou Razakou et al., 2013).

As dimensões dos vasos utilizados situam-se entre 4 e 15 l:

- (1) 9 l (Akyeampong, 1986; Anyia e Herzog, 2004);
- (2) 29 cm (diâmetro no topo) x 25 cm (diâmetro na base) x 27 cm (altura), i. e. aproximadamente 15 l (Duzdemir et al., 2009);
- (3) 15 l (Ahmed e Suliman, 2010);
- (4) 17 cm (diâmetro) x 18 cm (altura), i. e., aproximadamente 4 l (Hayatu e Mukhtar, 2010);
- (5) 25 cm (diâmetro) x 16 cm (altura), i. e., aproximadamente 8 l (Abdou Razakou et al., 2013);
- (6) 17,5 cm (diâmetro) x 20 cm (altura), i. e., aproximadamente 5 l (Martins, 2014).

Os vasos podem ser colocados em estufa (Duzdemir et al., 2009; Abdou Razakou et al., 2013) ou numa câmara de crescimento (Akyeampong, 1986; Anyia e Herzog, 2004; Hayatu e Mukhtar, 2010). Neste caso as condições definidas foram as seguintes:

- (1) Fotoperíodo de 12 h, temperatura diurna de 29°C, temperatura noturna de 21°C (Akyeampong, 1986);
- (2) Fotoperíodo de 12 h, temperatura diurna de 25°C, temperatura noturna de 18°C, humidade relativa diurna de 70% e humidade relativa noturna de 80% (Anyia e Herzog, 2004);
- (3) Fotoperíodo de 13 h, temperatura diurna de 27°C, temperatura noturna de 17°C e humidade relativa de 60% (Martins, 2014).

A bibliografia consultada refere meios diferentes de crescimento das plantas nos ensaios em vaso: solo recolhido no local (Duzdemir et al., 2009; Ahmed e Suliman, 2010; Hayatu e Mukhtar, 2010; Abdou Razakou et al., 2013; Martins, 2014), substrato (Anyia e Herzog, 2004) ou uma mistura dos dois (Akyeampong, 1986). Na maior parte dos casos estudados foi aplicado fertilizante:

- (1) 5 g de superfosfato simples com 18% de P_2O_5 por vaso cheio com 7 kg de solo (Abdou Razakou et al., 2013);
- (2) 0,18 g de um fertilizante NPK por vaso com cerca de 3 kg de solo (Hayatu e Mukhtar, 2010);
- (3) Pulverização com um fertilizante líquido não especificado uma vez por semana (Akyeampong, 1986);
- (4) Fertilização mineral não especificada (Anyia e Herzog, 2004);
- (5) 20, 50 e 30 kg/ha em N, P_2O_5 e K_2O , respetivamente (Duzdemir et al., 2009).

Entre os diversos autores consultados é frequente a sementeira de mais do que uma semente por vaso. Posteriormente, as plantas são eliminadas de forma a restar apenas uma (Ahmed e Suliman, 2010; Abdou Razakou et al., 2013; Akyeampong, 1986; Anyia e Herzog, 2004) ou duas (Hayatu e Mukhtar, 2010). Martins (2014) usou apenas uma semente, pré germinada em papel de filtro humedecido com água destilada até a radícula ter cerca de 10 mm (72 h, aproximadamente). O controlo de infestantes, quando referido, é manual e feito sempre que necessário (Abdou Razakou et al., 2013). O solo dos vasos é por vezes coberto com folha de alumínio (Ahmed e Suliman, 2010), esferas de polietileno (Hayatu e Mukhtar, 2010) ou areia (Anyia e Herzog, 2004) para minimizar a evaporação.

O número de variedades testadas é variável:

- (1) Uma (Duzdemir et al., 2009);
- (2) Três (Ahmed e Suliman, 2010);
- (3) Quatro (Martins, 2014);
- (4) Seis (Abdou Razakou et al., 2013);
- (5) Sete (Hayatu e Mukhtar, 2010);
- (6) Dez (Dadson et al., 2005; Anyia e Herzog, 2004).

O número e o tipo de tratamentos são variáveis de acordo com as especificidades de cada ensaio. Alguns autores impuseram o déficit hídrico ao longo de todo o ciclo produtivo (por exemplo, Dadson et al. (2005)), enquanto outros localizaram-no em determinadas fases do

desenvolvimento. Neste caso o desenvolvimento da cultura é normalmente dividido entre fase vegetativa e reprodutiva (por exemplo, Ahmed e Suliman, (2010)).

Akyeampong (1986) realizou dois conjuntos de ensaios. Em ambos as plantas foram regadas uma vez por dia durante a fase juvenil e duas vezes por dia durante a fase adulta. O déficit hídrico foi criado através da ausência de rega.

No primeiro ensaio, realizado em 1982, utilizou uma variedade e três tratamentos nos quais as plantas foram sujeitas a condições de déficit hídrico em três alturas distintas:

- (1) Fase vegetativa durante 14 dias;
- (2) 3 dias após a abertura da primeira flor e, a partir daí, durante 12 dias;
- (3) 12 dias após a abertura da primeira flor e, a partir daí, durante 12 dias.

No segundo, realizado em 1983, utilizou três variedades num ensaio com quatro tratamentos:

- (1) Controlo;
- (2) Déficit hídrico durante o início da fase vegetativa (23 a 34 dias após a sementeira);
- (3) Déficit hídrico durante a parte final da fase vegetativa (30 a 39 dias após a sementeira);
- (4) Déficit hídrico durante quase toda a fase vegetativa (23 a 39 dias após a sementeira).

Anyia e Herzog (2004) determinaram o teor de água no solo correspondente à capacidade de campo através de TDR (refletometria no domínio do tempo) após terem adicionado água em excesso aos vasos e terem permitido que a drenagem ocorresse durante a noite. Utilizaram dezoito réplicas para cada uma das dez variedades testadas, que foram mantidas em condições de conforto hídrico até à floração. A 50% da floração colheram quatro plantas por variedade para avaliar a produção de biomassa prévia às condições de déficit hídrico. As restantes catorze foram divididas em dois grupos:

- (1) Controlo, mantido em condições de conforto hídrico;
- (2) Déficit hídrico severo.

A rega foi controlada automaticamente com o auxílio de tensiómetros. O tratamento controlo foi mantido à capacidade de campo, enquanto que o tratamento associado a um déficit severo foi mantido a um potencial de água no solo de – 75 kPa. Dez dias após a implementação do déficit hídrico, foram recolhidas três plantas para a avaliação da

biomassa. Depois disso as plantas foram novamente mantidas em conforto hídrico. A parte aérea recolhida foi dividida em caules, folhas (verdes e senescentes) e vagens.

Duzdemir et al. (2009) realizaram quatro tratamentos de cinco plantas cada um, fornecendo em cada rega a água correspondente a 143%, 100%, 75% e 50% da CC. O volume de água a aplicar em cada rega foi determinado a partir da seguinte expressão (Equação 2.1):

$$R = \frac{m_{CC} - m}{\rho} \times c \quad \text{Equação 2.1}$$

R – volume de água a aplicar em cada rega;

m_{CC} – massa do vaso com o solo à capacidade de campo;

m – massa do vaso imediatamente antes da rega;

ρ – densidade da água;

c – coeficiente do tratamento (1,43; 1,00; 0,75 ou 0,50).

Um prato colocado sob cada um dos vasos permitiu medir a água perdida por drenagem após cada rega. As regas ocorreram com um intervalo de 3 a 6 dias.

A evapotranspiração total de cada vaso (ET) foi determinada a partir da seguinte expressão (Equação 2.2):

$$ET = \frac{(m_i - m_f)}{\rho} + (\sum R + \sum D) \quad \text{Equação 2.2}$$

ET – evapotranspiração total de cada vaso;

m_i – massa do vaso no início do ensaio;

m_f – massa do vaso no fim do ensaio;

ρ – densidade da água;

$\sum R$ – volume de água total fornecido pela rega;

$\sum D$ – volume de água total drenado.

Ahmed e Suliman (2010) realizaram quatro tratamentos no ensaio em vaso:

- (1) Controlo;
- (2) Déficit hídrico durante a fase vegetativa;
- (3) Déficit hídrico durante a fase reprodutiva;
- (4) Déficit hídrico durante todo o ciclo.

O déficit hídrico foi imposto variando o intervalo entre regas. Enquanto que o tratamento controlo foi regado de 10 em 10 dias, os tratamentos sujeitos ao déficit hídrico receberam água a intervalos de 20 dias durante o período em que esse déficit ocorreu. A quantidade

de água a aplicar em cada rega foi determinada por diferença de peso, à semelhança de Duzdemir et al. (2009).

Hayatu e Mukhtar (2010) realizaram três tratamentos, implementados 14 dias após a sementeira com todos os vasos à capacidade de campo e com a duração de 22 dias:

- (1) Controlo – reposição diária da água gasta até à capacidade de campo;
- (2) Déficit hídrico moderado – reposição diária da água gasta até 50% da capacidade de campo;
- (3) Déficit hídrico severo – sem reposição de água.

Antes da introdução dos tratamentos, os vasos foram regados com um intervalo de 2 dias. A água gasta foi determinada pela diferença de peso dos vasos, à semelhança de Duzdemir et al. (2009).

Abdou Razakou et al. (2013) realizaram dois tratamentos. Todas as plantas foram regadas a intervalos de 4 dias até aos 10 dias após a sementeira. A partir daí o tratamento correspondente ao déficit hídrico não recebeu mais água. Durante o período de rega, o volume de água a aplicar foi determinado pesando os vasos e calculando a diferença de peso relativamente à rega anterior. A senescência foliar foi avaliada aos 17 dias após sementeira numa escala de 0 a 10, dividindo a percentagem de área foliar total morta por 10. O peso da parte aérea e radicular das plantas foi registado após secagem em estufa a 72°C até peso constante.

A propósito do ensaio de campo, Dadson et al. (2005) determinaram a oportunidade de rega medindo o teor de humidade com um tensiómetro. No controlo, a tensão de água no solo foi mantida acima de $-0,03$ MPa. No tratamento correspondente ao déficit hídrico, o teor de água no solo foi repostado à capacidade de campo sempre que a tensão de água no solo descia abaixo dos $-0,07$ MPa. A monitorização do teor de água no solo foi complementada com uma sonda de neutrões. As variedades estudadas foram classificadas em 3 grupos, de acordo com o número de dias até à maturação:

- (1) Variedades de maturação temporã (60 a 75 dias);
- (2) Variedades de maturação média (75 a 90 dias);
- (3) Variedades de maturação tardia (90 a 120 dias).

As principais variáveis avaliadas pelos diversos autores foram as seguintes:

(1) Crescimento/desenvolvimento:

- a. Potencial hídrico foliar (Akyeampong, 1986);
- b. Área foliar (Akyeampong, 1986; Hayatu e Mukhtar, 2010);
- c. Quociente de área foliar – área foliar/peso da planta (Anyia e Herzog, 2004);
- d. Área foliar específica – área foliar/peso da folha (Anyia e Herzog, 2004; Hayatu e Mukhtar, 2010);
- e. Classificação das variedades quando à época de maturação (Dadson et al., 2005);
- f. Total de água perdida por transpiração (Hayatu e Mukhtar, 2010);
- g. Senescência foliar (Abdou Razakou et al., 2013).

(2) Atividade fotossintética:

- a. Trocas gasosas foliares (Anyia e Herzog, 2004);
- b. Fluorescência da clorofila (Hayatu e Mukhtar, 2010);
- c. Teor de clorofila (Hayatu e Mukhtar, 2010).

(3) Produção:

- a. Eficiência no uso da água (Anyia e Herzog, 2004; Ahmed e Suliman, 2010; Hayatu e Mukhtar, 2010; Abdou Razakou et al., 2013);
- b. Produtividade (Dadson et al., 2005; Duzdemir et al., 2009; Ahmed e Suliman, 2010);
- c. Índice de colheita (Dadson et al., 2005; Ahmed e Suliman, 2010);
- d. Comprimento das vagens (Duzdemir et al., 2009);
- e. Número de sementes por planta (Duzdemir et al., 2009);
- f. Número de vagens por planta (Duzdemir et al., 2009; Ahmed e Suliman, 2010);
- g. Peso de cem ou de mil sementes (Duzdemir et al., 2009; Ahmed e Suliman, 2010);
- h. Peso da matéria seca radicular e/ou aérea (Duzdemir et al., 2009; Ahmed e Suliman, 2010; Hayatu e Mukhtar, 2010; Abdou Razakou et al., 2013);
- i. Número de sementes por vagem (Ahmed e Suliman, 2010).

3. Material e métodos

3.1. Material vegetal

Foram estudadas três variedades de feijão-frade (Tab. 3.1; Fig. 3.1), duas provenientes do Banco Português de Germoplasma Vegetal (BPGV) e a terceira do International Institute of Tropical Agriculture (IITA).

Tabela 3.1. Variedades de feijão-frade estudadas.

Designação	Variedade	Origem
V 1	Fradel	Banco Português de Germoplasma Vegetal (BPGV) ¹
V 2	Acc n.º 05514	Banco Português de Germoplasma Vegetal (BPGV)
V 3	Acc n.º Tvu-778	International Institute of Tropical Agriculture (IITA) ²



Figura 3.1. Variedades utilizadas no ensaio. Da esquerda para a direita: variedades V 1, V 2 e V 3.

3.2. Condições de crescimento

O ensaio foi realizado numa estufa do Campus Agrário de Vairão, no concelho de Vila do Conde, de 21 de fevereiro a 18 de julho de 2017, tendo a temperatura e a humidade relativa sido monitorizadas (Tab. 3.2).

Tabela 3.2. Valores máximos, mínimos e médios da temperatura e da humidade relativa, registados de 21 de fevereiro a 18 de julho de 2017, na estufa do Campus Agrário de Vairão onde decorreu o ensaio.

	Temperatura (°C)	Humidade relativa
Mínima	3,9	20,9%
Máxima	39,9	98,2%
Média	21,9	59,6%

¹ O Banco Português de Germoplasma Vegetal (BPGV) foi criado em 1977 em Braga e está integrado no Instituto de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV). Entre as suas atividades salientam-se a colheita, a conservação, a documentação e a valorização dos recursos genéticos vegetais. O BPGV acolhe coleções representativas do germoplasma dos recursos agrícolas mais importantes de Portugal conservado sob a forma de semente e de propágulos vegetativos, resultantes de mais de uma centena de missões de colheita de germoplasma nacionais e internacionais (BPGV, s.d.).

² O International Institute of Tropical Agriculture (IITA) foi fundado em 1967 em Ibadan (Nigéria) e é um dos 15 centros apoiados pelo Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). Entre as suas principais atividades destaca-se a investigação relacionada com os sistemas agrícolas tropicais e, em particular, a seleção e o melhoramento de plantas (IITA, 2017).

Utilizaram-se vasos de 6 l, preenchidos com uma mistura de 3 partes de substrato, 3 partes de terra e 1 parte de perlite, tendo o peso total de cada vaso sido ajustado a 3 kg.

Uma amostra da mistura com um volume igual ao utilizado por vaso foi colocado na estufa (Raypa, Incuterm) a 70°C até o seu peso se manter constante. Determinou-se o peso do vaso com esse substrato seco ($V_{\text{seco}} = 1,8 \text{ kg}$) com uma balança (Kern, Gab. 12K0.1N).

3.3. Procedimento experimental

Foi utilizado um delineamento completamente casualizado com 120 plantas, constituído por 4 tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2), 3 variedades (V 1, V 2 e V 3), e 10 plantas por variedade e tratamento.

As plantas foram semeadas em tabuleiros alveolados no dia 21-02-2017 (Fig. 3.2) e transplantadas para vasos no dia 07-03-2017, 14 dias após a sementeira (DAS).

Cada tratamento, constituído por 30 plantas (10 plantas de cada uma das 3 variedades), foi colocado numa bancada (Fig. 3.3). Semanalmente, a partir de 28-03-2017 (35 DAS), tanto a posição de cada bancada como a posição de cada planta dentro de cada bancada, foram alteradas para permitir condições uniformes de crescimento e desenvolvimento.



Figura 3.2. Tabuleiros semeados com as três variedades.



Figura 3.3. Bancadas.

Para se evitar a drenagem da água aplicada na rega os orifícios dos vasos foram envoltos com várias camadas de fita adesiva (Fig. 3.4) e, para se restringir a perda de água por evaporação, a superfície dos vasos foi coberta com folha de alumínio (Fig. 3.5). O controlo de infestantes foi feito manualmente sempre que necessário.



Figura 3.4. Orifícios de drenagem tapados com fita adesiva.



Figura 3.5. Superfície do vaso coberta com folha de alumínio para restringir a evaporação.

Para determinar o peso total de cada vaso à capacidade de campo, todos os vasos foram regados em excesso tendo-se considerado que, logo após a drenagem ter cessado, se encontravam à capacidade de campo. De seguida, pesou-se cada vaso tendo-se obtido o valor de 4,4 kg. Como o peso conjunto vaso e substrato seco foi de 1,8 kg e considerando a densidade da água 1 kg/l, conclui-se que o volume de água contido no vaso à capacidade de campo era de 2,6 l, i.e., 1,8 kg do vaso com substrato e 2,6 kg de água.

Não foi efetuada nenhuma rega até 18-04-2017 (56 DAS), dia em que se introduziram os tratamentos:

R 0 – controlo; conforto hídrico durante todo o ciclo;

R 1 – déficit hídrico durante as fases vegetativa e reprodutiva;

R 2.1 – déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa;

R 2.2 – déficit hídrico apenas durante a fase reprodutiva.

Aos 56 DAS, os tratamentos em conforto hídrico (R 0 e R 2.2) foram regados até o peso de cada vaso atingir os 3,5 kg³, i.e., 1,7 l/vaso, que corresponde a 65% do volume de água à capacidade de campo. Nos vasos correspondentes aos tratamentos em déficit hídrico

³ Optou-se por ajustar os tratamentos em conforto hídrico a um teor de água inferior à capacidade de campo para evitar danos nas raízes por excesso de água.

(R 1 e R 2.1), o peso foi ajustado aos 2,4 kg, i.e., 0,6 l/vaso (23% do volume de água à capacidade de campo).

A partir dos 56 DAS, esse processo foi realizado 2 vezes por semana. Em cada visita o peso de cada vaso foi registado, após o que se acrescentou água até aos limites atrás referidos.

As condições de déficit/conforto hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 nas variedades V 1 e V 2 foram alteradas a 05-05-2017 (73 DAS), altura em que mais de 90% das plantas dessas variedades se encontravam na fase reprodutiva. Dessa forma, as plantas das variedades V 1 e V 2, sujeitas ao tratamento R 2.1, foram regadas até o peso total igualar os 3,5 kg e permitiu-se que o peso total dos vasos das plantas dessas variedades pertencentes ao tratamento R 2.2 baixasse até 2,4 kg (Tab 3.3).

Como apenas uma pequena parte das plantas da variedade V 3 sujeitas aos tratamentos R 2.1 e R 2.2 atingiram a fase reprodutiva, as condições de déficit hídrico do tratamento R 2.1 e as condições de conforto hídrico do tratamento R 2.2 mantiveram-se ao longo de todo o ciclo. Assim, na variedade V 3, as condições hídricas do tratamento R 2.1 foram iguais às do tratamento R 1 e as do tratamento R 2.2 igualaram as do tratamento R 0 (Tab. 3.3).

Tabela 3.3. Períodos em que foram aplicados os quatro tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) às plantas das três variedades estudadas (V 1, V 2 e V 3).

Tratamento	Variedade	De 18-04-2017 (56 DAS) a 05-05-2017 (73 DAS)	A partir de 05-05-2017 (73 DAS)
R 0	V 1	Conforto	Conforto
	V 2	Conforto	Conforto
	V 3	Conforto	Conforto
R 1	V 1	Défice	Défice
	V 2	Défice	Défice
	V 3	Défice	Défice
R 2.1	V 1	Défice	Conforto
	V 2	Défice	Conforto
	V 3	Défice	Défice
R 2.2	V 1	Conforto	Défice
	V 2	Conforto	Défice
	V 3	Conforto	Conforto

No final do ciclo, cada uma das plantas foi arrancada e colocada num saco de papel devidamente identificado. A secagem foi feita em estufa (Raypa, Incuterm) a 40°C até o peso se manter constante.

Para cada uma das plantas, contou-se o número de vagens e o número de sementes e avaliou-se a biomassa total (aérea e radicular), a biomassa aérea, o peso das vagens e o peso das sementes com uma balança.

3.4. Observações e registos

3.4.1. Crescimento/desenvolvimento

Altura das plantas

A altura das plantas foi medida semanalmente a partir dos 14 DAS com uma fita métrica, desde a superfície do vaso até ao gomo apical do caule principal.

Água utilizada por dia

O volume de água gasto por dia (V) foi determinado 2 vezes por semana, através da diferença entre os valores registados em pesagens consecutivas (Eq. 3.1).

$$V = \frac{m_i - m_{i-1}}{\rho_{\text{água}} \cdot d} \quad \text{Equação 3.1}$$

V – volume de água gasto por dia (l);

m_i – peso atual do vaso (kg);

m_{i-1} – peso do vaso na medição anterior após a rega;

$\rho_{\text{água}}$ – densidade da água (1,0 kg/l);

d – número de dias entre a medição $i - 1$ e a medição i .

Estado fenológico

O estado fenológico de cada planta foi determinado semanalmente a partir de 07-03-2017 (14 DAS), de acordo com a classificação sugerida por Campos et al. (2000) (Tab. 3.4).

Tabela 3.4. Classificação dos estados fenológicos. Adaptado de Campos et al. (2000).

Fase	Estado	Descrição
Vegetativa	V 0	Sementeira.
	V 1	Emergência dos cotilédones à superfície do solo.
	V 2	Abertura completa das folhas unifoliadas e separação das respectivas margens.
	V 3	Separação e abertura completa dos folíolos da primeira folha trifoliada.
	V 4	Separação e abertura completa dos folíolos da segunda folha trifoliada.
	V 5	Separação e abertura completa dos folíolos da terceira folha trifoliada.
	V 6	Aparecimento dos primórdios do ramo secundário nas axilas das folhas unifoliadas, podendo também serem observados nas axilas das folhas trifoliadas.
	V 7	Abertura completa da primeira folha do ramo secundário.
	V 8	Abertura completa da segunda folha do ramo secundário.
	V 9	Abertura completa da terceira folha do ramo secundário.
Reprodutiva	R 1	Aparecimento dos primórdios do primeiro botão floral no ramo principal.
	R 2	Antese da primeira flor, geralmente proveniente do primeiro botão floral.
	R 3	Início da maturidade da primeira vagem, geralmente oriunda da primeira flor. Pode ser detetada através da mudança de cor da vagem provocada pelo início da sua secagem.
	R 4	Maturidade de 50% das vagens.
	R 5	Maturidade de 90% das vagens.

Abcisão foliar

A abcisão foliar foi avaliada por contagem semanal das folhas que se destacaram da planta desde 25-04-2017 (63 DAS) até 02-06-2017 (101 DAS).

Número de flores

O número de flores foi determinado por contagem semanal das flores abertas no caule principal e nos secundários desde 05-05-2017 (73 DAS) até 18-07-2017 (147 DAS).

Número de vagens

O número de vagens foi determinado por contagem semanal desde 05-05-2017 (73 DAS) até 18-07-2017 (147 DAS).

3.4.2. Atividade fotossintética

Taxa fotossintética, taxa transpiratória, condutância estomática e concentração sub-estomática de CO₂

Estas variáveis foram avaliadas numa folha por planta, escolhida aleatoriamente, com o equipamento IRGA LCI-SD (ADC BioScientific Ltd.) nos dias 04-05-2017 (72 DAS), 29-05-2017 (97 DAS), 16-06-2017 (115 DAS) e 30-06-2017 (129 DAS). As medições foram realizadas em 3 plantas por tratamento e por variedade no dia 04-05-2017 e em 5 plantas por tratamento e por variedade nos restantes. Nas duas últimas medições foram utilizadas menos plantas nalguns dos tratamentos/variedades, por algumas já terem terminado o seu ciclo de vida.

Teor de clorofila

O teor relativo de clorofila foi avaliado com o equipamento SPAD 502 PLUS (Konica Minolta), nos dias 11-05-2017 (79 DAS), 02-06-2017 (101 DAS), 16-06-2017 (115 DAS), 30-06-2017 (129 DAS) e 18-07-2017 (147 DAS). A medição foi realizada numa folha por planta, escolhida aleatoriamente, em todas as plantas do ensaio.

3.4.3. Produção

Biomassa total

A biomassa total foi determinada por pesagem direta da planta seca.

Razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea

Este quociente foi calculado para cada uma das plantas através do quociente entre a biomassa radicular e a biomassa aérea.

A biomassa radicular foi determinada por diferença entre a biomassa total e a biomassa aérea.

Número de sementes por planta

O número de sementes por planta foi determinado diretamente por contagem do número de sementes em cada uma das plantas do ensaio.

Número de vagens por planta

O número de vagens por planta foi determinado diretamente por contagem do número de vagens em cada uma das plantas do ensaio.

Número de sementes por vagem

O número de sementes por vagem foi calculado para cada uma das plantas através do quociente entre o número de sementes e o número de vagens da planta.

Peso de mil sementes

O peso de mil sementes (m_{1000}) foi determinado a partir da Equação 3.3.

$$m_{1000} = \frac{m_{\text{sementes}}}{n_{\text{sementes}}} \times 1000 \quad \text{Equação 3.2}$$

m_{1000} – peso de 1000 sementes (g);

m_{sementes} – peso das sementes da planta (g);

n_{sementes} – número de sementes da planta (g).

Peso das sementes por planta

O peso das sementes por planta foi determinado diretamente por pesagem do total das sementes da planta. O valor previsto para esta variável pode ser calculado a partir do produto das componentes de rendimento (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de uma semente). O peso de uma semente pode ser determinado dividindo por mil o peso de mil sementes.

Peso das vagens por planta

O peso das vagens por planta foi determinado diretamente por pesagem do total das vagens da planta.

Eficiência no uso da água (produção de sementes)

A eficiência no uso da água (EUA) expressa em gramas de semente por litro de água utilizada foi determinada a partir da Equação 3.2.

$$EUA_{sementes} = \frac{m_{sementes}}{V_{água}} \quad \text{Equação 3.3}$$

$EUA_{sementes}$ – eficiência no uso da água (g de semente por l de água utilizada);

$m_{sementes}$ – peso do total de sementes da planta (g);

$V_{água}$ – volume de água acumulado (l) utilizado pela planta de 18-04-2017 (56 DAS) a 18-07-2017 (147 DAS).

Eficiência no uso da água (produção de biomassa)

A eficiência no uso da água ($EUA_{biomassa}$) expressa em gramas de biomassa total por litro de água utilizada foi determinada a partir da Equação 3.2.

$$EUA_{biomassa} = \frac{m_{biomassa}}{V_{água}} \quad \text{Equação 3.4}$$

$EUA_{biomassa}$ – eficiência no uso da água (g de biomassa por l de água utilizada);

$m_{biomassa}$ – biomassa total da planta (g);

$V_{água}$ – volume de água acumulado (l) utilizado pela planta de 18-04-2017 (56 DAS) a 18-07-2017 (147 DAS).

Índice de colheita

O índice de colheita foi calculado para cada uma das plantas através do quociente entre o peso das sementes e a biomassa total da planta.

3.5. Análise estatística

A análise estatística foi feita através do programa estatístico SAS University Edition. Utilizou-se o teste de Duncan para determinar diferenças nas médias das variáveis analisadas, a um nível de significância máximo de 5%.

Foi testado o seguinte modelo para todas as variáveis dependentes relativas ao crescimento/desenvolvimento e à atividade fotossintética (Eq. 3.4).

$$Y_{ijkl} = D_i + P_j + T_k + V_l + D_i \times P_j + D_i \times T_k + D_i \times V_l + P_j \times T_k + P_j \times V_l + T_k \times V_l + D_i \times P_j \times T_k + D_i \times P_j \times V_l + P_j \times T_k \times V_l + D_i \times T_k \times V_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Equação 3.5

Y – variável dependente em estudo;

D – dias após sementeira (i = 1, 2, ..., 29);

P – planta (j = 1, 2, ..., 10);

T – tratamento (k = 1, 2, 3, 4; 1 = R 0, 2 = R 1, 3 = R 2.1 e 4 = R 2.2);

V – variedade (l = 1, 2, 3; 1 = V 1, 2 = V 2 e 3 = V 3);

ε – erro.

Para as variáveis dependentes relativas à produção foi testado o seguinte modelo:

$$Y_{ijkl} = P_j + T_k + V_l + P_j \times T_k + P_j \times V_l + T_k \times V_l + P_j \times T_k \times V_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Equação 3.6

Y – variável dependente em estudo;

P – planta (j = 1, 2, ..., 10);

T – tratamento (k = 1, 2, 3, 4; 1 = R 0, 2 = R 1, 3 = R 2.1 e 4 = R 2.2);

V – variedade (l = 1, 2, 3; 1 = V 1, 2 = V 2 e 3 = V 3);

ε – erro.

4. Resultados

4.1. Crescimento/desenvolvimento

4.1.1. Altura das plantas

A representação gráfica da altura média das plantas em função do respetivo estado fenológico segue uma forma aproximadamente sigmóide (Fig. 4.1).

A curva relativa à variedade V 1 é menos definida do que as curvas das variedades V 2 e V 3. Além disso, a curva da variedade V 3 está incompleta devido ao atraso no desenvolvimento das plantas.

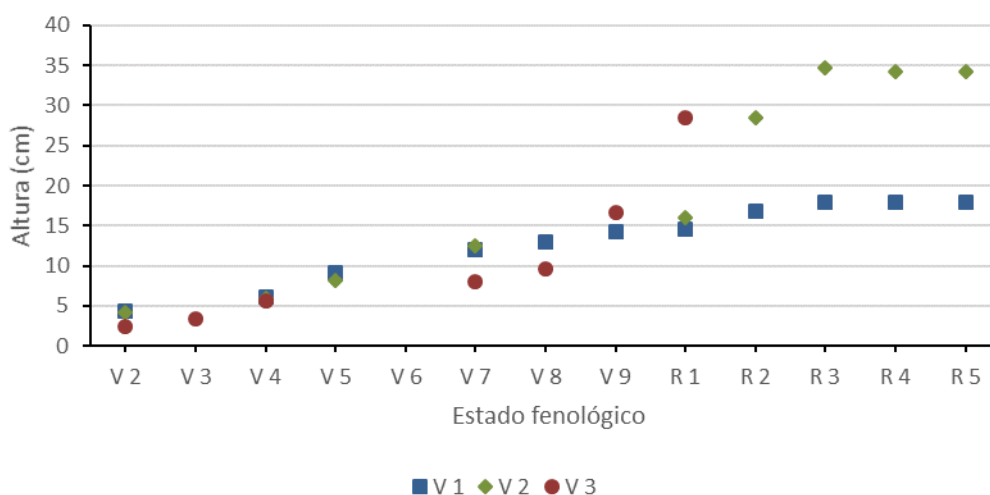


Figura 4.1. Valor médio da altura das plantas das três variedades em função do seu estado fenológico.

As Figuras 4.2 a 4.4 mostram a evolução do estado fenológico médio das plantas de cada uma das três variedades.

Aos 84 DAS as plantas da variedade V 1 que estiveram em condições de conforto hídrico durante a fase vegetativa (tratamento R 2.2) e que nesse dia já estavam sujeitas a déficit hídrico encontravam-se no mesmo estado fenológico do que as plantas do tratamento controlo (R 0; Fig. 4.2). No entanto, as plantas do tratamento R 2.2 atingiram o estado R 5 aos 111 DAS, enquanto que as plantas do tratamento R 0 só atingiram esse estado aos 120 DAS. Assim, o desenvolvimento das plantas do tratamento R 2.2 parece ter sido mais rápido do que o das plantas do tratamento R 0, após as condições de déficit hídrico terem sido impostas.

Aos 97 DAS (variedade V 1) e aos 105 DAS (variedade V 2) as plantas que estiveram sob défice hídrico apenas durante a fase vegetativa e que nesses dias já estavam em condições de conforto (tratamento R 2.1), encontravam-se no mesmo estado fenológico do que as plantas do tratamento controlo (R 0; Fig. 4.2 e 4.3). No entanto, enquanto que as plantas do tratamento R 0 atingiram o estado R 5 aos 120 DAS (variedade V 1) e aos 111 DAS (variedade V 2), as plantas do tratamento R 2.1 atingiram esse estado aos 127 DAS (variedades V 1 e V 2). Assim, as plantas do tratamento R 2.1 (variedades V 1 e V 2) parecem ter tido um desenvolvimento mais lento do que as plantas do tratamento R 0 depois de as condições de conforto hídrico terem sido repostas.

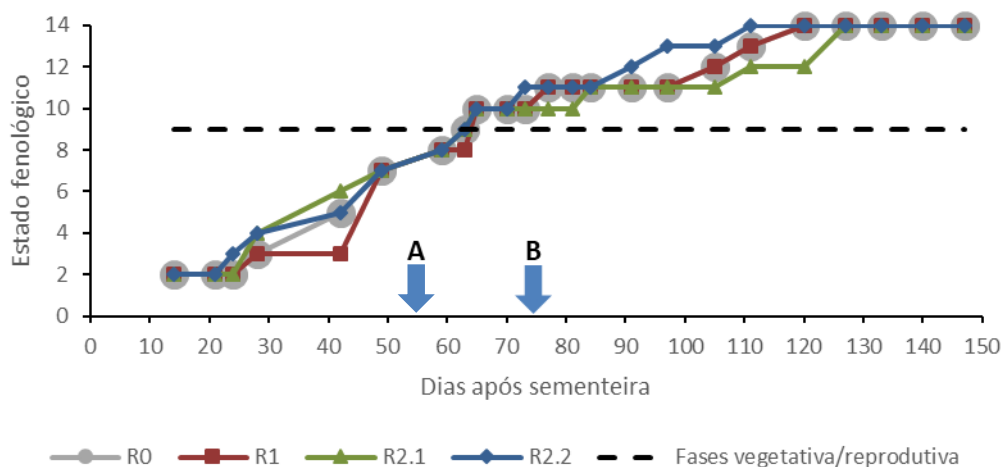


Figura 4.2. Evolução do valor médio dos estados fenológicos da variedade V 1 para cada um dos tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) ao longo do ensaio.

Correspondência entre os valores das ordenadas e os estados fenológicos: 1 = estado V 1, 2 = estado V 2,..., 9 = estado V 9, 10 = estado R 1, 11 = estado R 2,..., 14 = estado R 5.

A – introdução dos tratamentos de déficit hídrico (R 0 e R 2.2 – conforto; R 1 e R 2.1 – déficit).

B – alteração dos tratamentos de déficit hídrico (R 0 e R 2.1 – conforto; R 1 e R 2.2 – déficit).

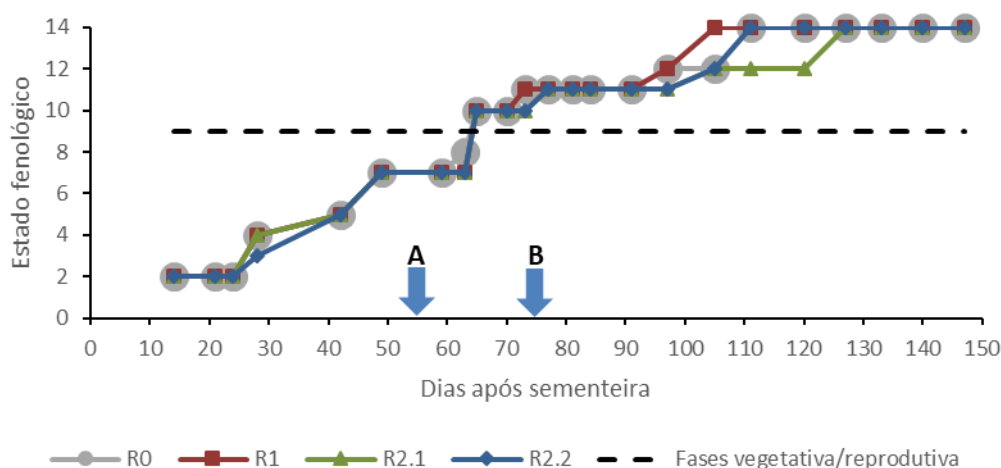


Figura 4.3. Evolução do valor médio dos estados fenológicos da variedade V 2 para cada um dos tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) ao longo do ensaio.

Correspondência entre os valores das ordenadas e os estados fenológicos: 1 = estado V 1, 2 = estado V 2,..., 9 = estado V 9, 10 = estado R 1, 11 = estado R 2,..., 14 = estado R 5.

A – introdução dos tratamentos de déficit hídrico (R 0 e R 2.2 – conforto; R 1 e R 2.1 – déficit).

B – alteração dos tratamentos de déficit hídrico (R 0 e R 2.1 – conforto; R 1 e R 2.2 – déficit).

Na variedade V 3 (Fig. 4.4), as diferenças observadas entre o desenvolvimento das plantas dos tratamentos R 0 e R 2.2 e entre o desenvolvimento das plantas dos tratamentos R 1 e R 2.1 terão sido provocadas por diferenças entre os genótipos das diversas plantas, uma vez que, ao longo de todo o ensaio, os tratamentos R 0 e R 2.2 estiveram sob condições de conforto hídrico semelhantes entre si e os tratamentos R 1 e R 2.1 estiveram sob condições de déficit hídrico também semelhantes entre si.

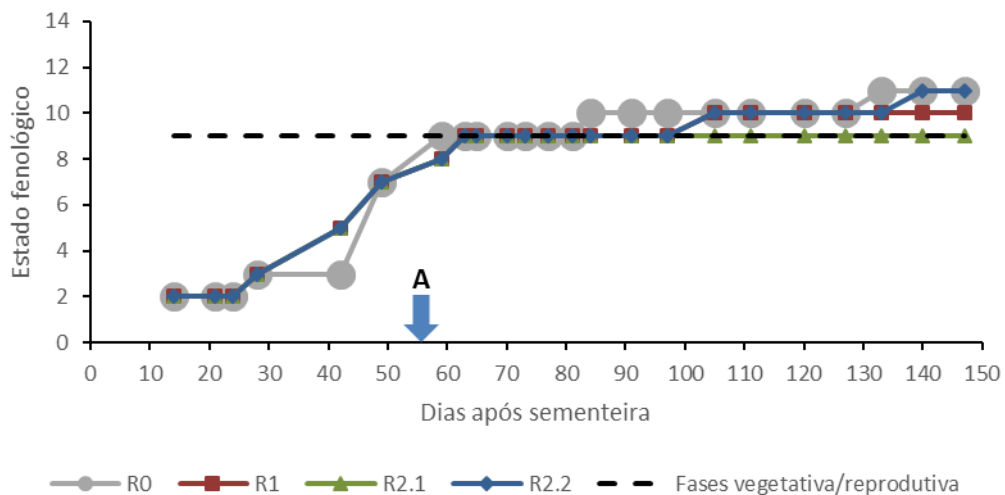


Figura 4.4. Evolução do valor médio dos estados fenológicos da variedade V 3 para cada um dos tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) ao longo do ensaio.

Correspondência entre os valores das ordenadas e os estados fenológicos: 1 = estado V 1, 2 = estado V 2,..., 9 = estado V 9, 10 = estado R 1, 11 = estado R 2,..., 14 = estado R 5.

A – introdução dos tratamentos de déficit hídrico (R 0 e R 2.2 – conforto; R 1 e R 2.1 – déficit).

Encontrou-se, para o modelo definido e a propósito do valor médio da altura das plantas, um coeficiente de determinação bastante elevado ($R^2 = 0,99$) e um coeficiente de variação baixo ($CV = 4\%$), que constituem bons indicadores da qualidade dos dados e da relevância das variáveis explicativas utilizadas.

Verificou-se que todas as variáveis do modelo eram significativas ($p < 0,01$).

Evolução

O aumento do valor médio da altura das plantas segue uma forma aproximadamente sigmóide (Fig. 4.5).

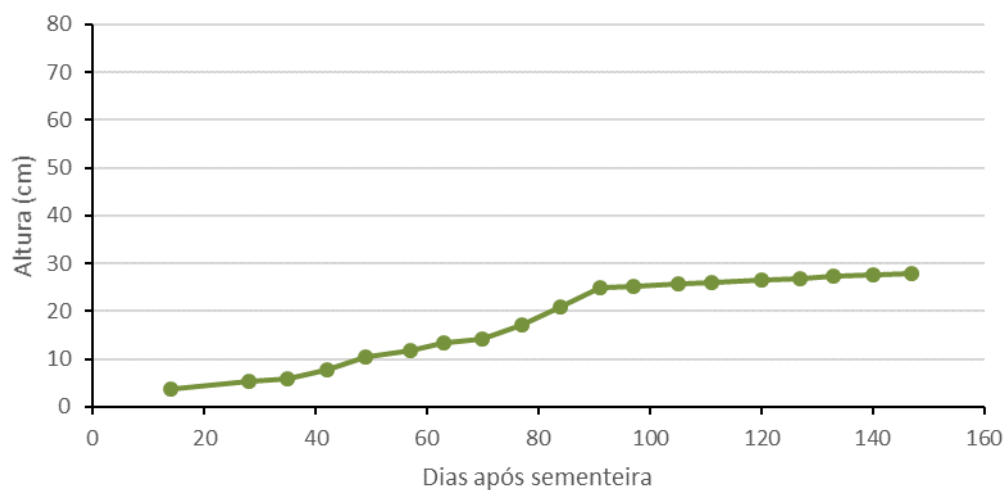


Figura 4.5. Evolução do valor médio da altura das plantas ao longo do seu desenvolvimento.

Variedades

A variedade V 2 foi a que atingiu um valor médio da altura maior (22,1 cm; $p < 0,05$). Seguiu-se a variedade V3 (16,7 cm) e, por último; a V 1 (13,9 cm; Fig. 4.6).

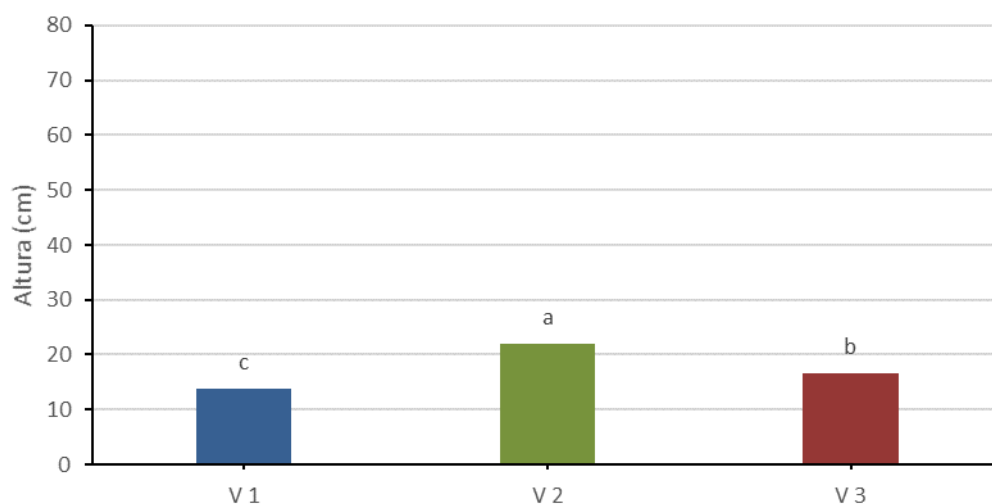


Figura 4.6. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da altura das plantas. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

A maior altura da variedade V 2 pode ser explicada pelo hábito trepador de algumas das plantas desta variedade (Fig. 4.7).



Figura 4.7. Hábito trepador de uma planta da variedade V 2.

Tratamentos

O déficit hídrico influenciou negativamente a altura das plantas (Fig. 4.8). O menor valor médio da altura ocorreu no tratamento em que o déficit foi imposto em ambas as fases de desenvolvimento das plantas (R 1). O déficit hídrico restrito à fase vegetativa (R 2.1) parece ter resultado em valores médios menores (13,9 cm; $p < 0,05$) do que o déficit restrito à fase reprodutiva (R 2.2; 16,0 cm).

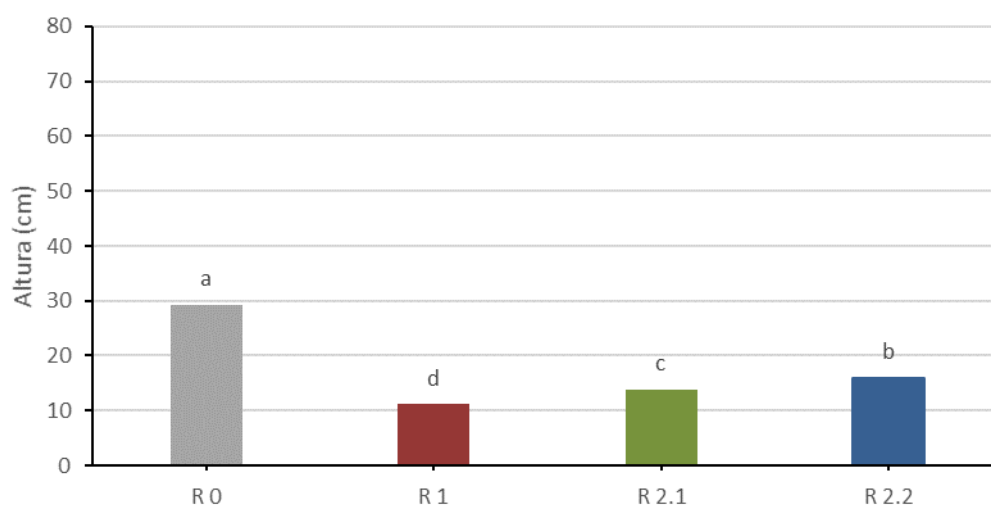


Figura 4.8. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da altura das plantas. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento das plantas da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) nesta variedade durante ambas as fases do desenvolvimento.

As plantas das três variedades tiveram um menor crescimento quando foram submetidas ao tratamento R 1 relativamente ao tratamento R 0 (Fig. 4.9).

Na variedade V 1, o déficit hídrico restrito à fase reprodutiva (R 2.2) resultou em plantas mais baixas (13,4 cm; $p < 0,05$) relativamente ao déficit restrito à fase vegetativa (14,2 cm; R 2.1).

Na variedade V 2, não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o efeito do déficit hídrico restrito à fase reprodutiva (R 2.2) e o déficit restrito à fase vegetativa (R 2.1) no valor médio da altura das plantas.

Na variedade V 3, o déficit hídrico ocorrido ao longo das fases vegetativa e reprodutiva esteve associado a um menor crescimento das plantas, à semelhança do que ocorreu com as variedades V 1 e V 2.

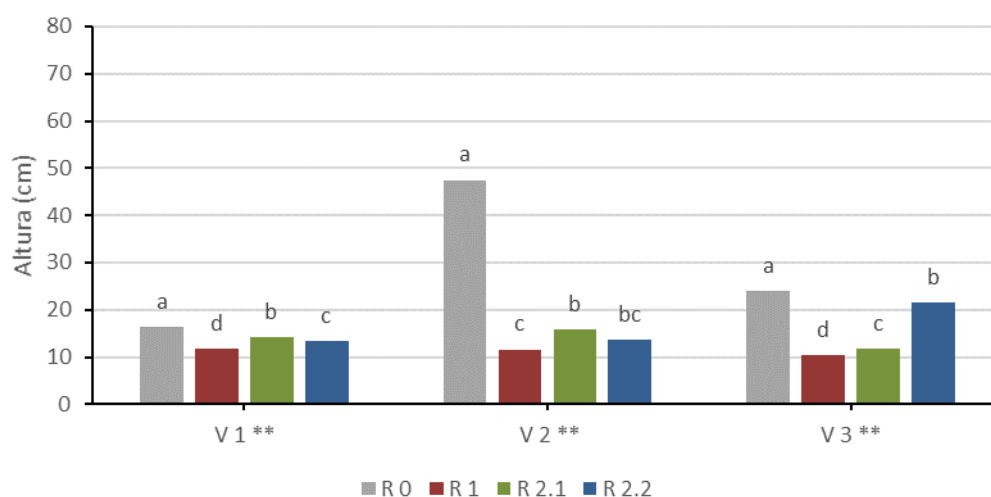


Figura 4.9. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da altura das plantas.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

A Figura 4.10 apresenta os resultados da interação entre os tratamentos de déficit hídrico e os dias após a sementeira (DAS). Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições, devido ao seu número elevado mostram-se apenas duas: 70 e 91 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/déficit hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 (ocorrida aos 73 DAS). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após esse intervalo de tempo (91 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Aos 70 DAS, ambos os tratamentos em déficit hídrico (R 1 e R 2.1) apresentaram os menores valores médios da altura (12,4 cm e 11,2 cm, respetivamente; $p < 0,05$).

Aos 91 DAS, o valor médio da altura das plantas que estiveram sujeitas a déficit hídrico em ambas as fases (R 1; 12,8 cm) era menor ($p < 0,05$) do que o das plantas que apenas estiveram sob esse déficit na fase vegetativa (R 2.1; 22,4 cm).

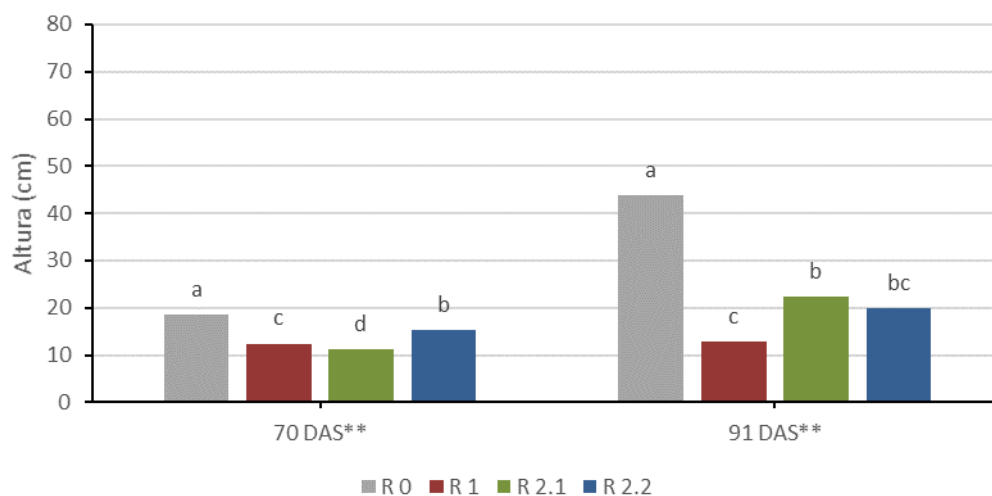


Figura 4.10. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (70 e 91 DAS) no valor médio da altura das plantas.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após semeadura e as variedades

Aos 70 DAS (Fig. 4.11) os tratamentos em déficit hídrico (R 1 e R 2.1) apresentaram um valor médio da altura menor ($p < 0,05$) do que a dos tratamentos em conforto (R 0 e R 2.2), na variedade V 1. Como seria de esperar, não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos R 1 e R 2.1, nem entre os tratamentos R 0 e R 2.2.

Aos 91 DAS não se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as plantas que estiveram sob déficit hídrico durante a fase vegetativa (R 2.1; 18,0 cm) e as que estiveram sob déficit durante a fase reprodutiva (R 2.2; 16,5 cm). No entanto, o valor médio da altura das plantas de ambos os tratamentos foi maior do que o das plantas que estiveram sob déficit hídrico durante ambas as fases (R 1; 13,3 cm; $p < 0,05$).

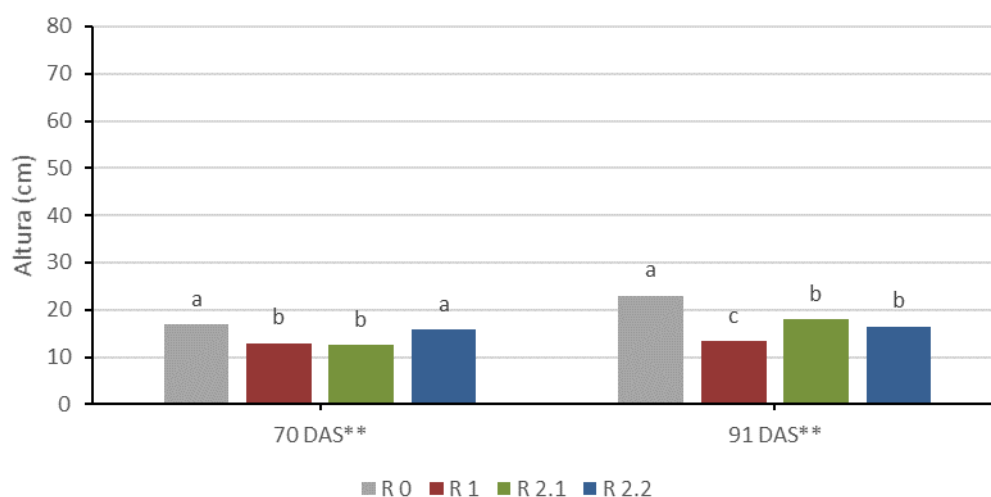


Figura 4.11. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (70 e 91 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da altura das plantas.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Na variedade V 2 (Fig. 4.12), o valor médio da altura das plantas sujeitas a déficit hídrico foi menor do que o das plantas do grupo controlo (R 0; $p < 0,05$), não só aos 70 mas também aos 91 DAS. Nesse dia, não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos que estiveram sob déficit hídrico.

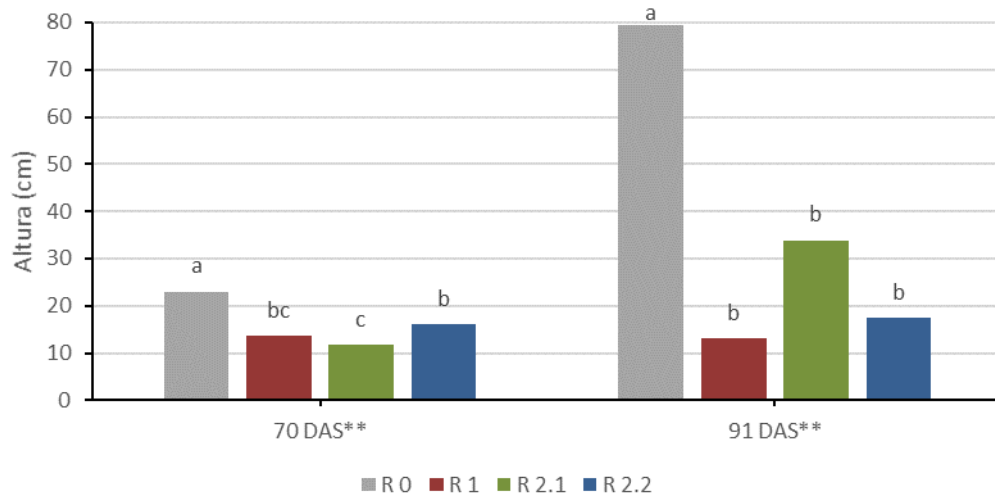


Figura 4.12. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (70 e 91 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da altura das plantas. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Na variedade V 3 (Fig. 4.13), o valor médio da altura das plantas sujeitas a déficit hídrico (R 1 e R 2.1) foi menor do que a das restantes ($p < 0,05$) em ambos os dias apresentados.

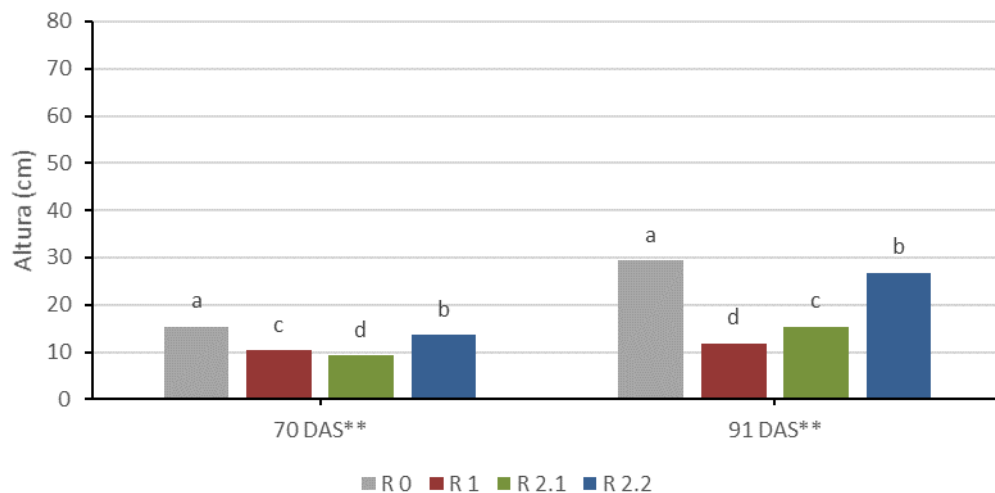


Figura 4.13. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (70 e 91 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da altura das plantas. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após sementeira

O valor médio da altura das plantas da variedade V 2 foi maior ($p < 0,05$) do que a das restantes variedades em ambas as medições efetuadas (Fig. 4.14).

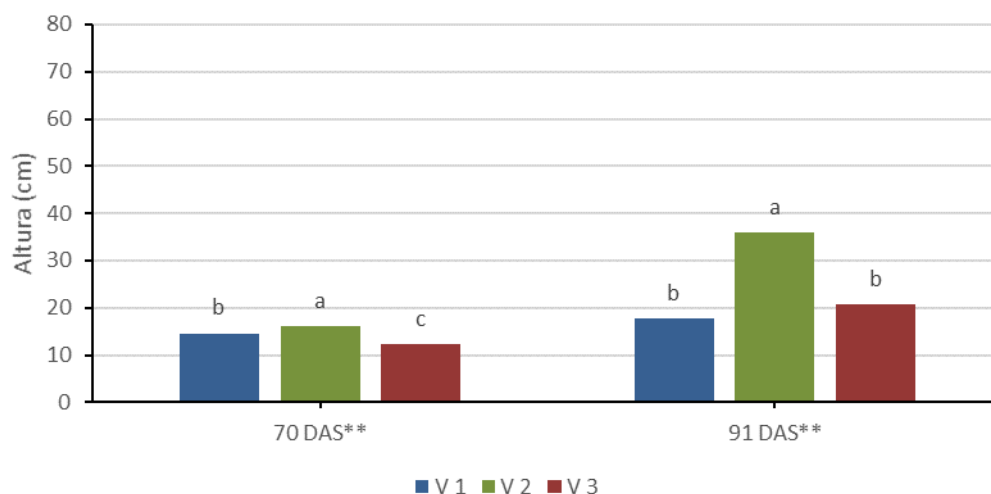


Figura 4.14. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (70 e 91 DAS) no valor médio da altura das plantas.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.1.2. Água utilizada por dia

Verificou-se que algumas das plantas dispunham as folhas numa posição ereta durante o período mais quente do dia, provavelmente como forma de diminuir a interseção da radiação e, assim, restringir as perdas de água (Fig. 4.15). Todas as variedades evidenciaram este comportamento.



Figura 4.15. Folhas eretas numa das plantas do ensaio.

Obeve-se um coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,92$) e um coeficiente de variação também elevado ($CV = 55\%$). Como as condições em que o ensaio foi realizado foram as mesmas para todas as variáveis e o mesmo equipamento foi manuseado sempre pelo mesmo operador, este valor elevado poderá ser explicado por diferenças entre os genótipos das plantas analisadas.

Verificou-se que todas as variáveis independentes definidas (e respetivas interações) eram estatisticamente significativas para o modelo ($p < 0,01$), com exceção das seguintes que não se revelaram significativas ($p < 0,05$):

- Planta x Tratamento x Dias após sementeira;
- Planta x Tratamento x Variedade.

Evolução

A representação gráfica da evolução do valor médio da água utilizada por dia ao longo das medições efetuadas mostra elevadas oscilações, provocadas por variações nas condições de temperatura e humidade relativa (Fig. 4.16). No entanto, nota-se uma tendência crescente até aproximadamente aos 90 DAS, seguida de uma tendência decrescente. A parte crescente do gráfico pode ser explicada pelo aumento das necessidades hídricas das plantas devido à expansão da área foliar. A parte decrescente poderá estar relacionada com a senescência das plantas.

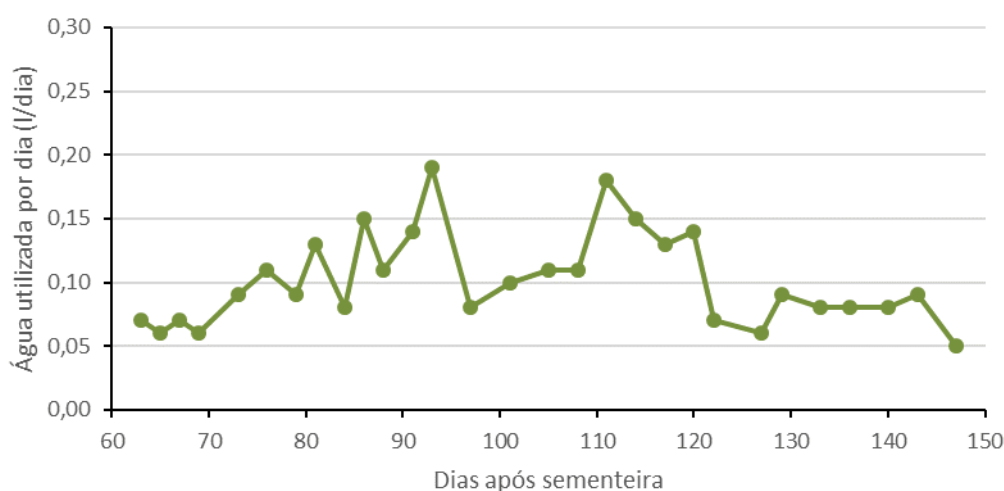


Figura 4.16. Evolução do valor médio da água utilizada por dia ao longo das medições efetuadas.

Variedades

O valor médio da água utilizada por dia (Fig. 4.17) foi maior ($p<0,05$) na variedade V 3 (0,114 l/dia), seguida da V 1 (0,106 l/dia) e, por último, da V 2 (0,097 l/dia).

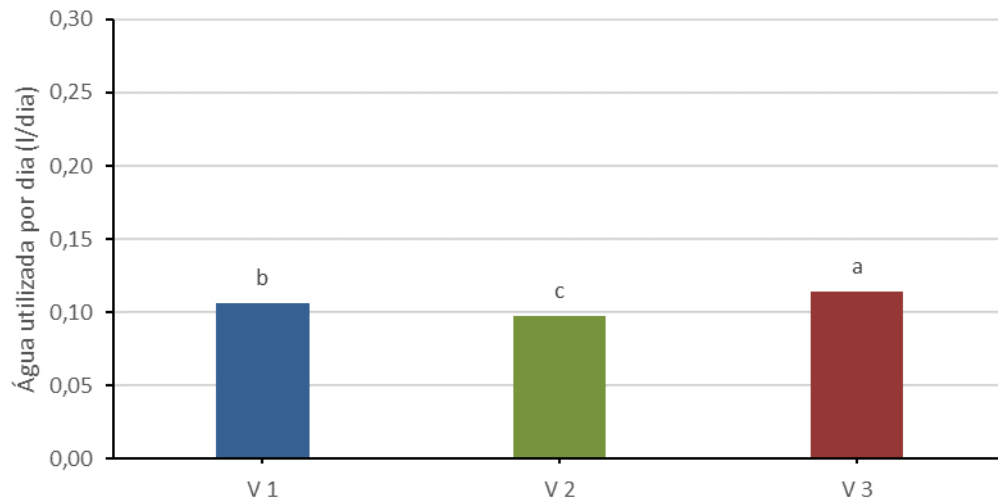


Figura 4.17. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da água utilizada por dia. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$).

Tratamentos

O déficit hídrico reduziu o consumo diário de água ($p<0,05$), indicando um ajuste das plantas à disponibilidade deste recurso (Fig. 4.18). A redução foi mais intensa quando o déficit hídrico abrangeu ambas as fases de desenvolvimento (R 1; 0,027 l/dia). O déficit restrito à fase reprodutiva (R 2.2; 0,128 l/dia) levou a uma menor redução da água utilizada do que o déficit imposto apenas na fase vegetativa (R 2.1; 0,095 l/dia).

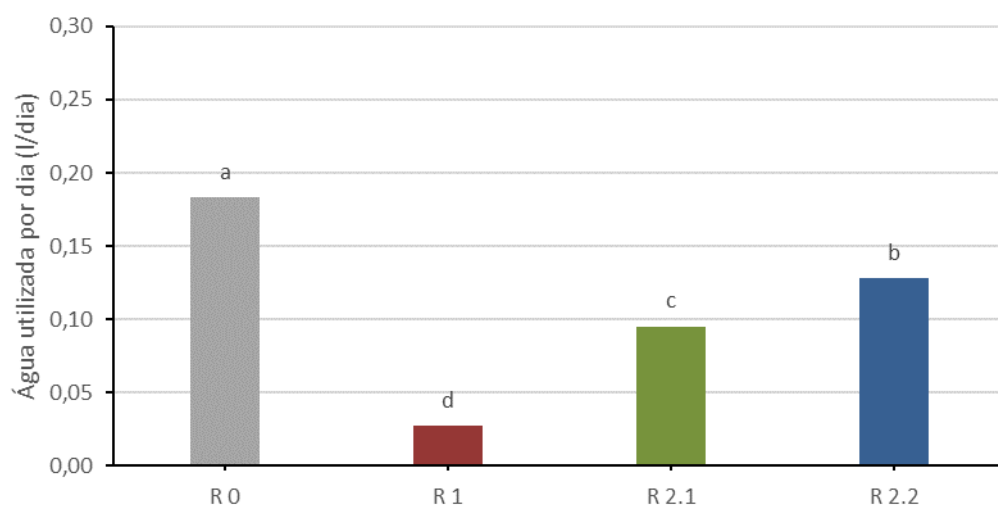


Figura 4.18. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da água utilizada por dia. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento das plantas da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) nesta variedade e durante todo o ensaio.

Na variedade V 1 (Fig. 4.19), o déficit hídrico imposto apenas durante a fase reprodutiva (R 2.2; 0,07 l/dia) provocou uma redução ($p < 0,05$) no valor médio da água utilizada maior do que o déficit restrito à fase vegetativa (R 2.1; 0,14 l/dia).

Na variedade V 2 não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o déficit hídrico ocorrido na fase vegetativa (R 2.1; 0,13 l/dia) e o controlo (R 0; 0,13 l/dia), o que indica uma recuperação completa das plantas daquele tratamento e variedade, depois de repostas as condições de conforto hídrico.

Na variedade V 3, as plantas sob déficit hídrico (tratamentos R 1 e R 2.1) utilizaram menos água por dia ($p < 0,05$) do que as que estavam em conforto hídrico (R 0 e R 2.2).

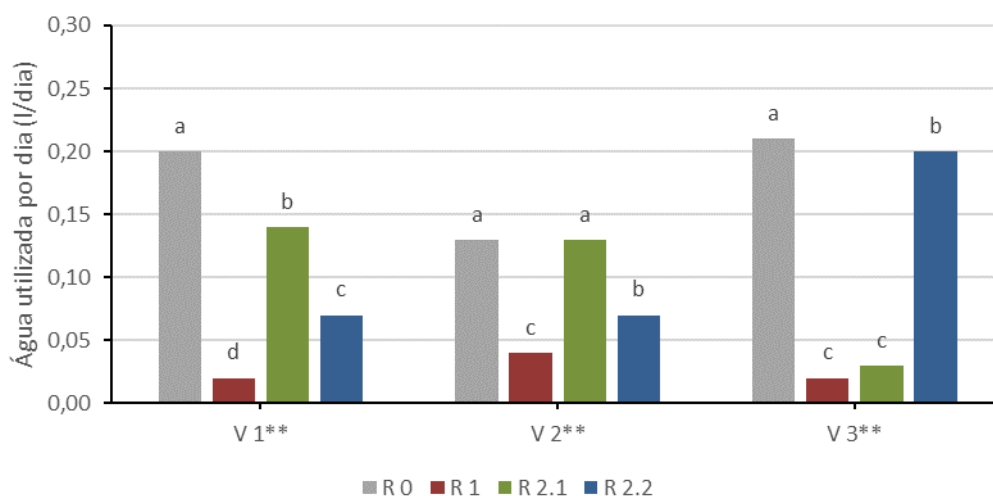


Figura 4.19. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da água utilizada por dia.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições mostram-se apenas duas: 73 e 91 DAS. A primeira foi selecionada porque se coincidiu com a alteração das condições de conforto/défice hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2. Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após o mesmo intervalo de tempo (91 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (défice hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o tratamento R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Em ambas as medições apresentadas, o valor médio da água utilizada por dia foi menor ($p < 0,05$) nas plantas sujeitas a déficit hídrico do que nas que estavam em conforto (Fig. 4.20).

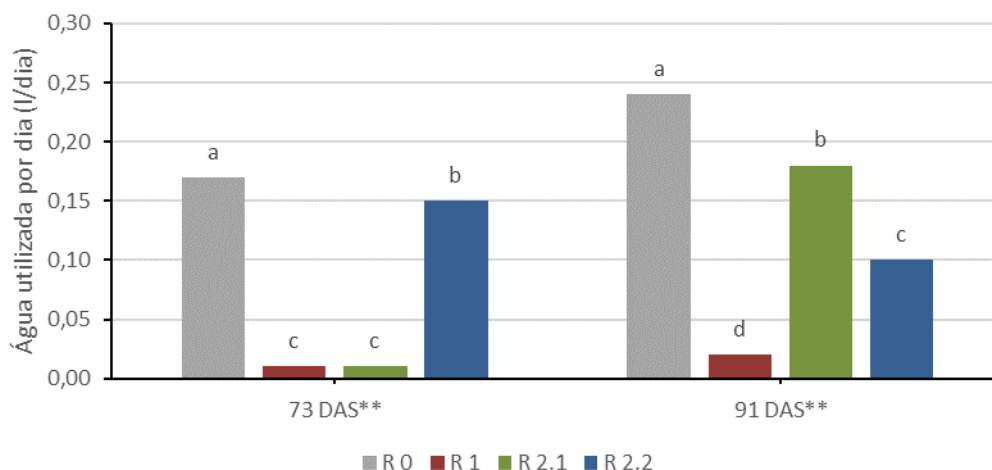


Figura 4.20. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) no valor médio da água utilizada por dia.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após semeadura e as variedades

Os tratamentos sob déficit hídrico gastaram, em média, menos água por dia do que os tratamentos em conforto em todas as três variedades (Fig. 4.21 a 4.23).

Na variedade V 1 não se encontraram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos que estiveram sujeitos às mesmas condições hídricas, com exceção dos tratamentos R 0 e R 2.2 aos 73 DAS (Fig. 4.21).

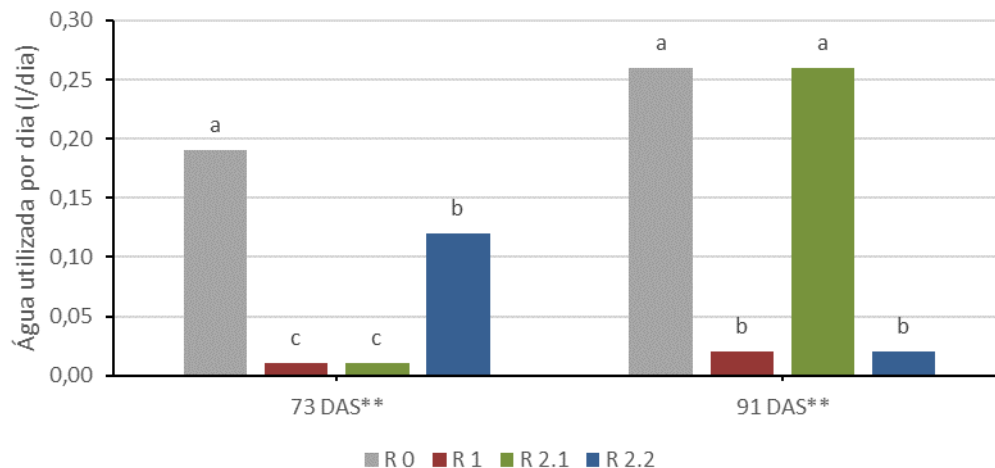


Figura 4.21. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da água utilizada por dia. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Na variedade V 2 também não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos sob as mesmas condições hídricas, com exceção dos tratamentos R 0 e R 2.1 aos 91 DAS (Fig. 4.22).

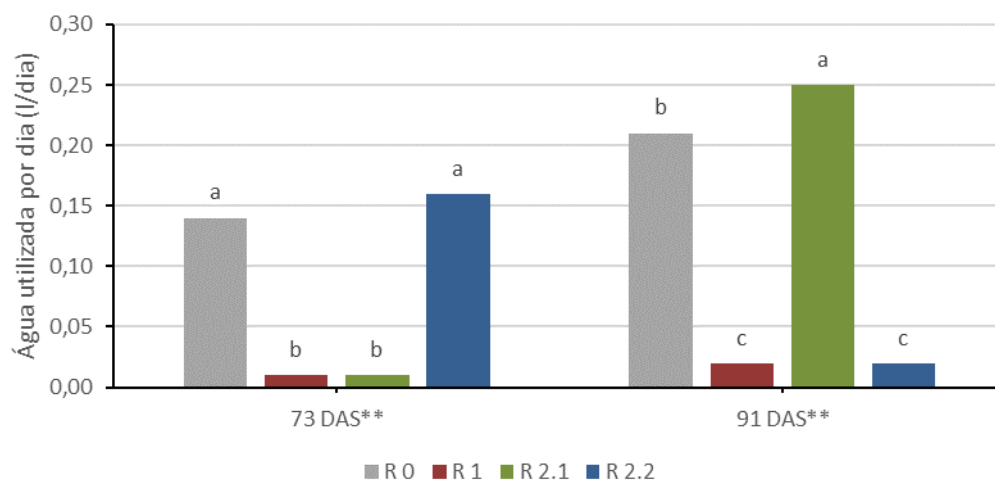


Figura 4.22. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da água utilizada por dia. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

À semelhança das variedades V 1 e V 2, na variedade V 3 o défice hídrico esteve associado a um menor consumo de água por dia (Fig. 4.23).

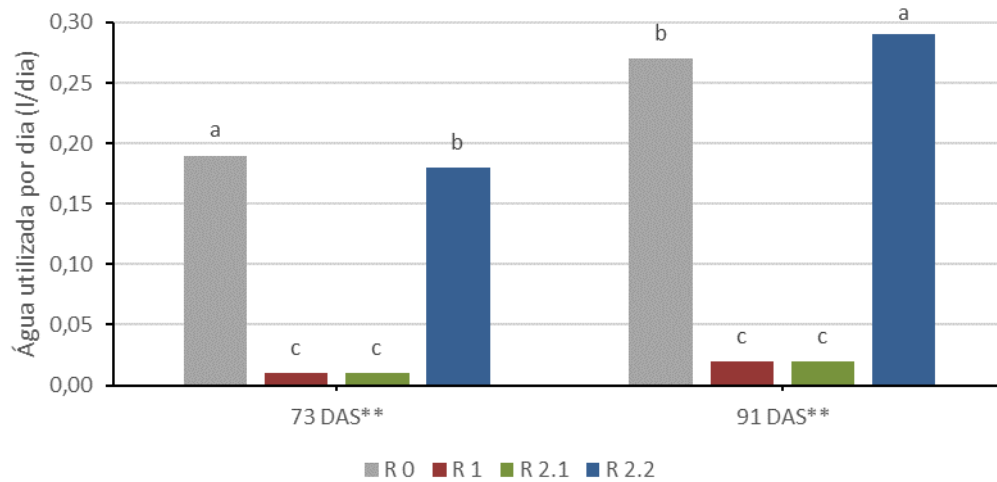


Figura 4.23. Interação entre os tratamentos de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da água utilizada por dia.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após sementeira

Aos 73 DAS, a variedade V 3 foi a que apresentou o maior consumo médio de água ($p < 0,05$), provavelmente porque a expansão da sua área foliar se prolongou por mais tempo do que a das variedades V 1 e V 2 (Fig. 4.24).

Não se encontraram diferenças significativas ($p < 0,05$) relativamente ao consumo de água entre as variedades V 1 e V 2 aos 73 DAS, nem entre as variedades V 1 e V 3 aos 91 DAS.

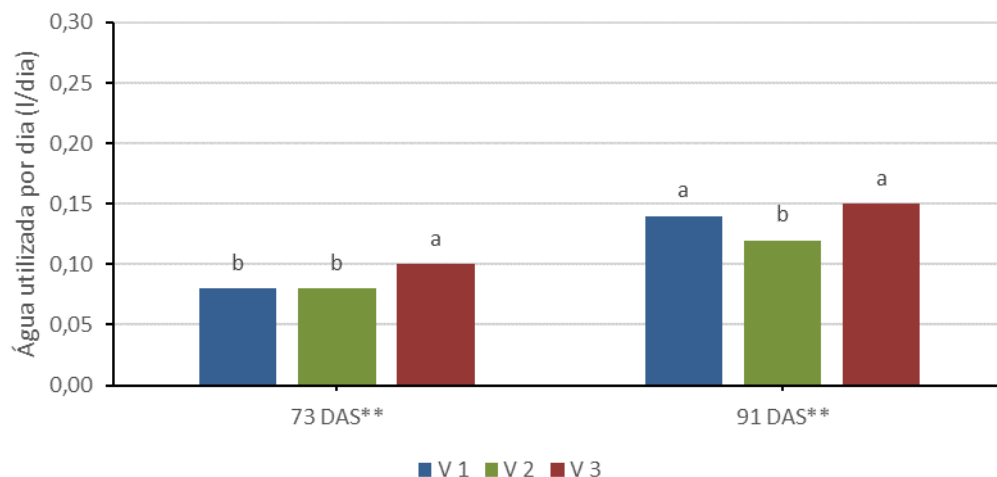


Figura 4.24. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (73 e 91 DAS) no valor médio da água utilizada por dia.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.1.3. Abcisão foliar

O modelo testado teve um coeficiente de determinação alto ($R^2 = 0,83$). No entanto, o coeficiente de variação dos dados é também alto ($CV = 149\%$), o que poderá refletir diferenças entre as plantas das variedades analisadas, uma vez que as condições do ensaio foram idênticas para todas as variáveis, não houve alteração dos equipamentos de medição e estes foram sempre manuseados pelo mesmo operador.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Dias após sementeira;
- Variedade;
- Tratamento;
- Tratamento x Variedade;
- Tratamento x Dias após sementeira;
- Tratamento x Dias após sementeira x Variedade;
- Variedade x Dias após sementeira.

Evolução

Até aos 86 DAS, o valor médio da abcisão foliar manteve-se aproximadamente estável (Fig. 4.25). Seguiu-se um aumento acentuado entre os 86 e os 93 DAS que poderá ter sido provocado pelo aproximar do final do ciclo de vida de algumas das plantas.

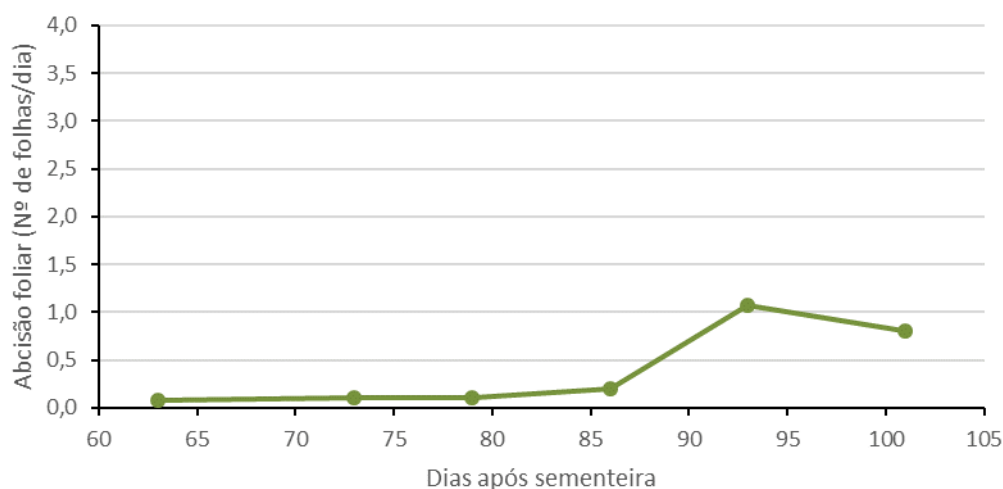


Figura 4.25. Evolução do valor médio da abcisão foliar ao longo das medições efetuadas.

Variedades

O valor médio da abscisão foliar da variedade V 3 (0,21 folhas/dia) foi menor ($p < 0,05$) do que o das variedades V 1 e V 2 (0,49 e 0,48 folhas/dia, respetivamente; Fig. 4.26). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre estes ($p < 0,05$).

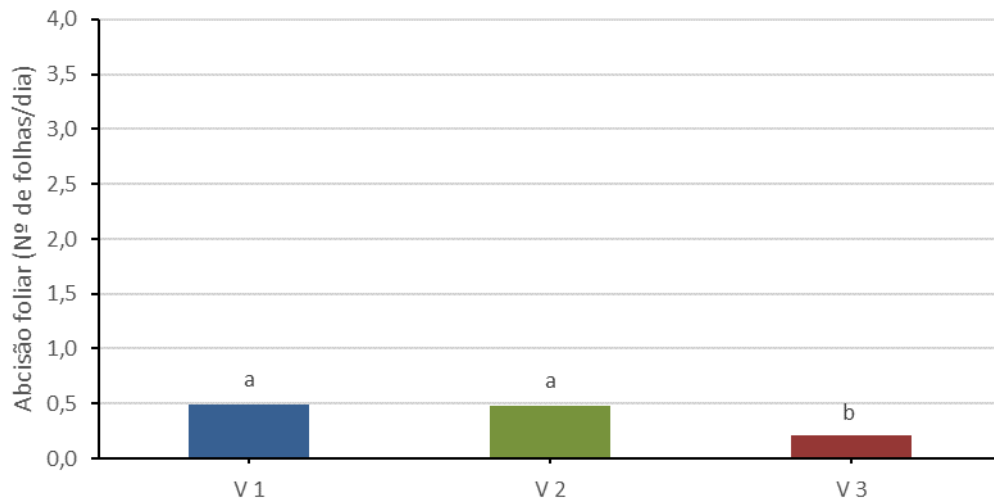


Figura 4.26. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da abscisão foliar. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O maior valor médio da abscisão foliar ($p < 0,05$) ocorreu nas plantas em que o déficit hídrico se restringiu à fase reprodutiva (R 2.2; 0,68 folhas/dia; Fig. 4.27). Por outro lado, o déficit hídrico restrito à fase vegetativa (R 2.1) correspondeu à menor abscisão foliar (0,17 folhas/dia).

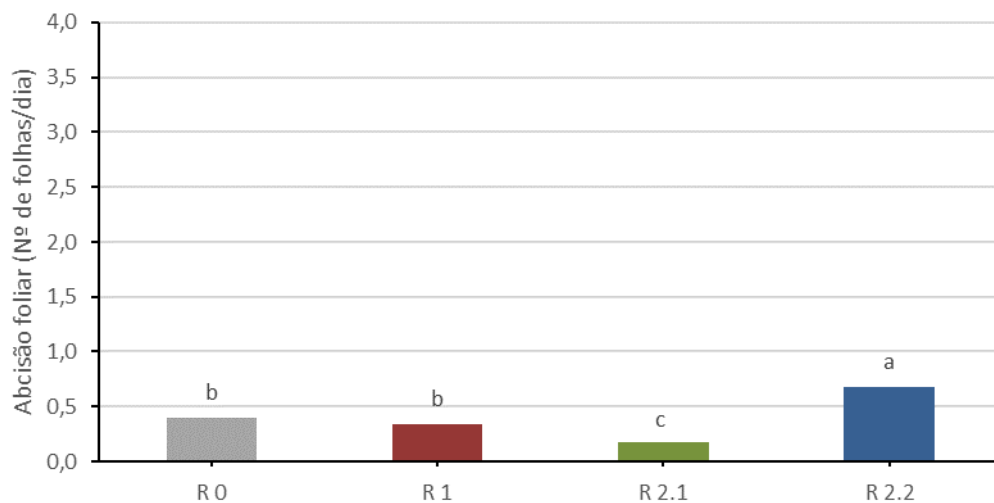


Figura 4.27. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da abscisão foliar. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico), nas plantas desta variedade durante ambas as fases do desenvolvimento das plantas.

Só se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ($p < 0,05$) nas variedades V 1 e V 2 (Fig. 4.28).

Na variedade V 1, o déficit hídrico restrito à fase reprodutiva (R 2.2) foi o que apresentou o maior valor médio da abscisão foliar (1,08 folhas/dia). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o déficit ocorrido em ambas as fases do desenvolvimento (R 1; 0,28 folhas/dia) e o déficit ocorrido apenas durante a fase vegetativa (R 2.1; 0,11 folhas/dia).

Na variedade V 2, o menor valor médio da abscisão foliar ($p < 0,05$) ocorreu nas plantas em que o déficit hídrico se centrou na fase vegetativa (R 2.1; 0,16 folhas/dia).

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos na variedade V 3.

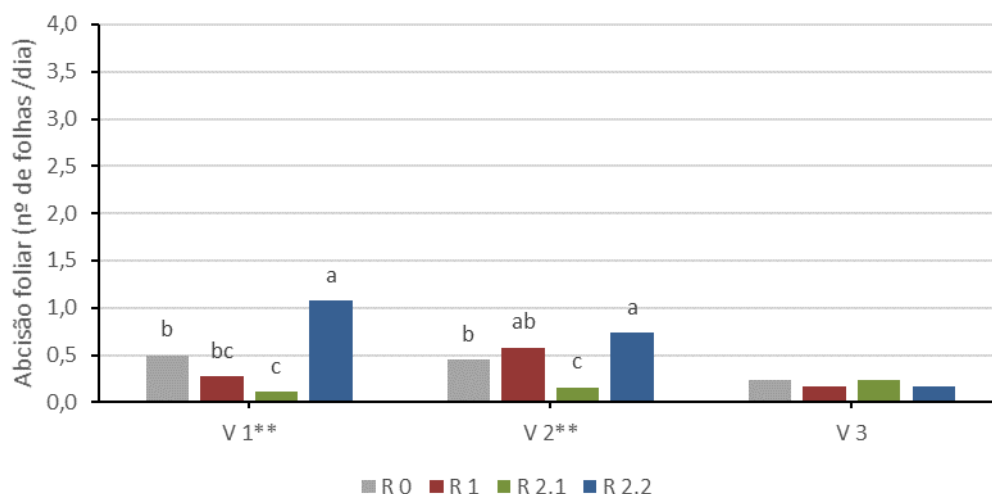


Figura 4.28. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da abscisão foliar.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições, mostram-se apenas duas: 73 e 93 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/déficit hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 (ocorrida aos 73 DAS). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após o mesmo intervalo de tempo (93 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o tratamento R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Aos 73 DAS (Fig. 4.29), as plantas do tratamento R 1 apresentaram um valor médio da abscisão foliar mais alto ($p < 0,05$; 0,19 folhas/dia) do que o dos restantes tratamentos.

Aos 93 DAS, as plantas do tratamento R 2.2 apresentaram um valor médio da abscisão foliar maior do que o dos restantes tratamentos ($p < 0,05$; 3,19 folhas/dia).

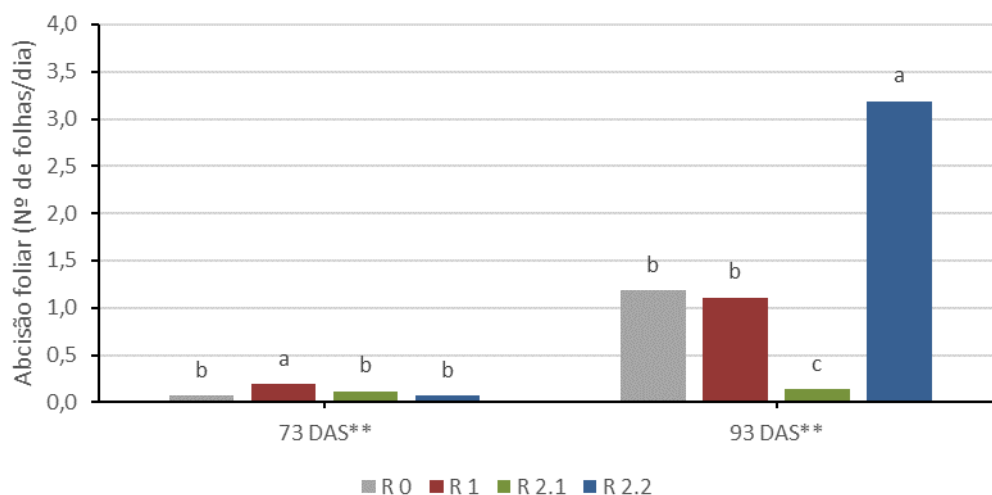


Figura 4.29. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 93 DAS) no valor médio da abscisão foliar.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após sementeira e as variedades

Aos 73 DAS não se encontraram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos nas plantas da variedade V 1 (Fig. 4.30).

Aos 93 DAS as plantas do tratamento R 2.2 foram as que apresentaram o maior valor médio da abscisão foliar nas variedades V 1 (3,84 folhas/dia; Fig. 30) e V 2 (2,54 folhas/dia; Fig. 4.31).

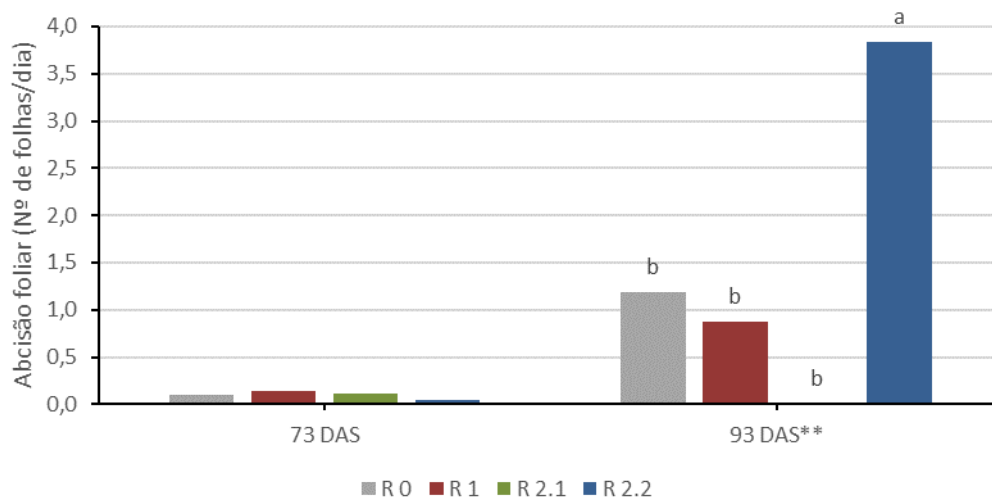


Figura 4.30. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 93 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da abscisão foliar. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

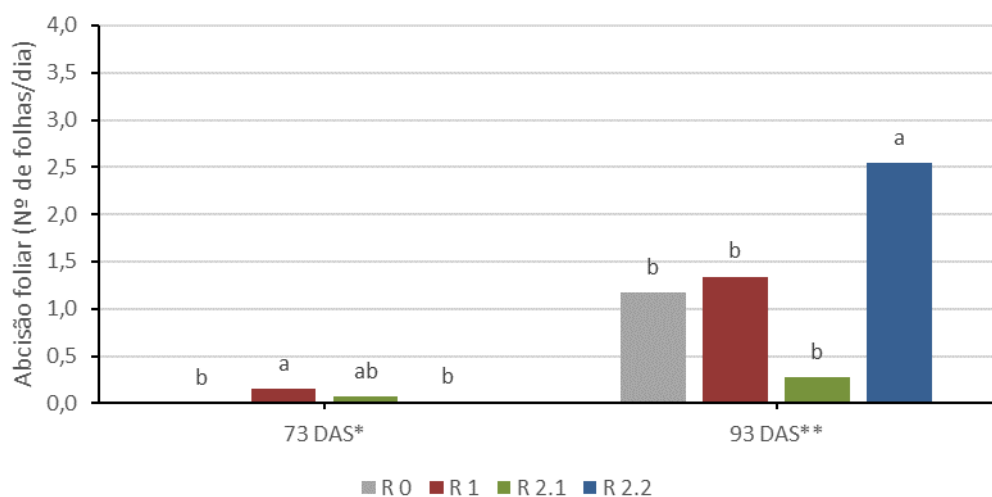


Figura 4.31. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 93 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da abscisão foliar. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). * indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$. ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Aos 73 DAS, o valor médio da abscisão foliar das plantas em conforto hídrico foi menor do que a das plantas do tratamento R 1, na variedade V 3 ($p < 0,05$; Fig. 4.32).

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os valores médios da abscisão foliar dos tratamentos R 1, R 2.1 e R 2.2, apesar de as condições hídricas das plantas do tratamento R 2.2 serem semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) e diferentes das condições dos tratamentos R 1 e R 2.1 (déficit hídrico).

Aos 93 DAS não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos nesta variedade.

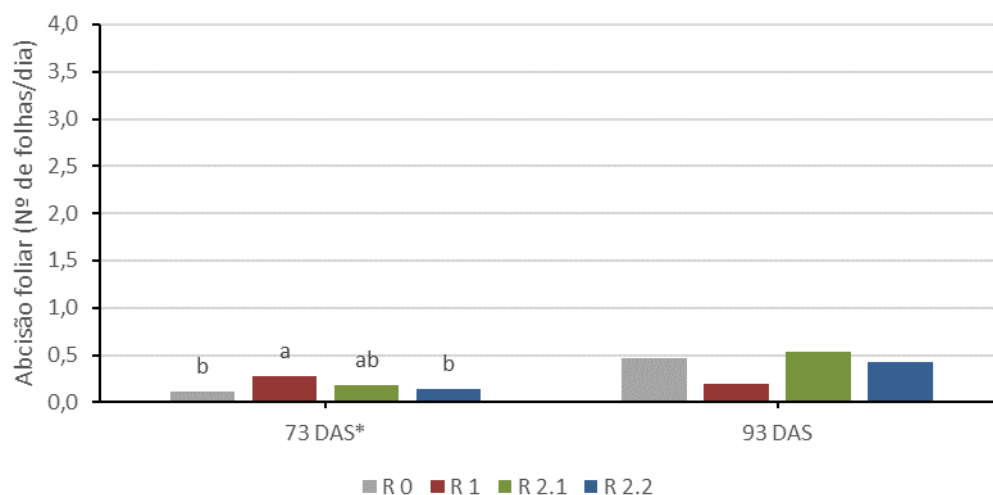


Figura 4.32. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 93 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da abscisão foliar. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). * indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

Interação entre as variedades e os dias após sementeira

Aos 73 DAS (Fig. 4.33) a variedade V 3 foi a que apresentou o maior valor médio da abscisão foliar ($p < 0,05$; 0,18 folhas/dia). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os valores médios da abscisão foliar nas variedades V 1 (0,10 folhas/dia) e V 2 (0,06 folhas/dia).

Aos 93 DAS o menor valor médio da abscisão foliar correspondeu à variedade V 3 ($p < 0,05$; 0,39 folhas/dia). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o valor médio da abscisão foliar nas variedades V 1 (1,48 folhas/dia) e V 2 (1,33 folhas/dia).

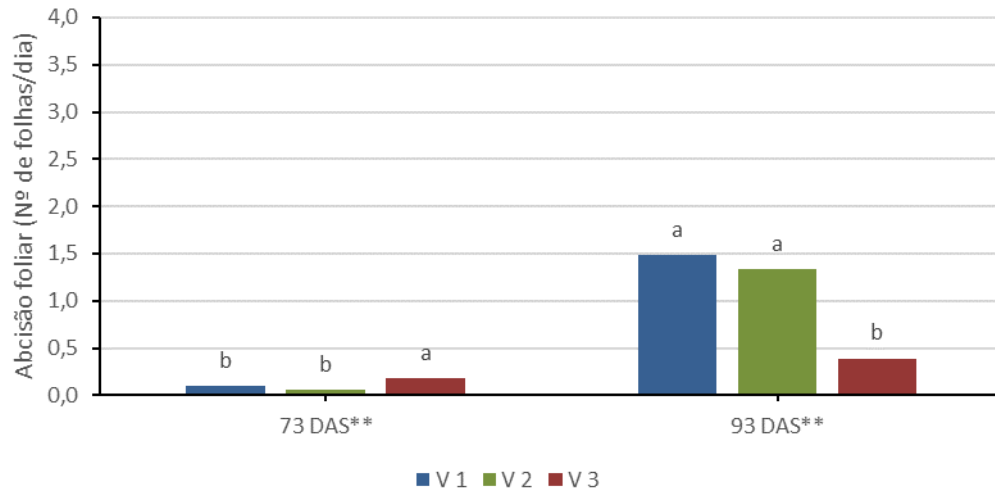


Figura 4.33. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (73 e 93 DAS) no valor médio da abscisão foliar.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.1.4. Número de flores

Obteve-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,87 e um coeficiente de variação (CV) de 136%. O valor elevado do coeficiente de variação poderá dever-se a diferenças entre as plantas das variedades analisadas ou ao facto de a contagem ter sido feita não só no caule principal, mas também nos secundários.

Relativamente ao modelo testado, verificou-se que as seguintes variáveis independentes eram estatisticamente significativas:

- Dias após sementeira ($p < 0,01$);
- Tratamento ($p < 0,01$);
- Variedade ($p < 0,01$);
- Tratamento x Dias após sementeira ($p < 0,01$);
- Variedade x Dias após sementeira ($p < 0,01$);
- Tratamento x Variedade ($p < 0,01$);
- Tratamento x Dias após sementeira x Variedade ($p < 0,05$).

Evolução

Após um aumento inicial (até aos 81 DAS; 3,9 flores), o número médio de flores diminuiu acentuadamente devido à evolução do estado fenológico das plantas (Fig. 4.34).

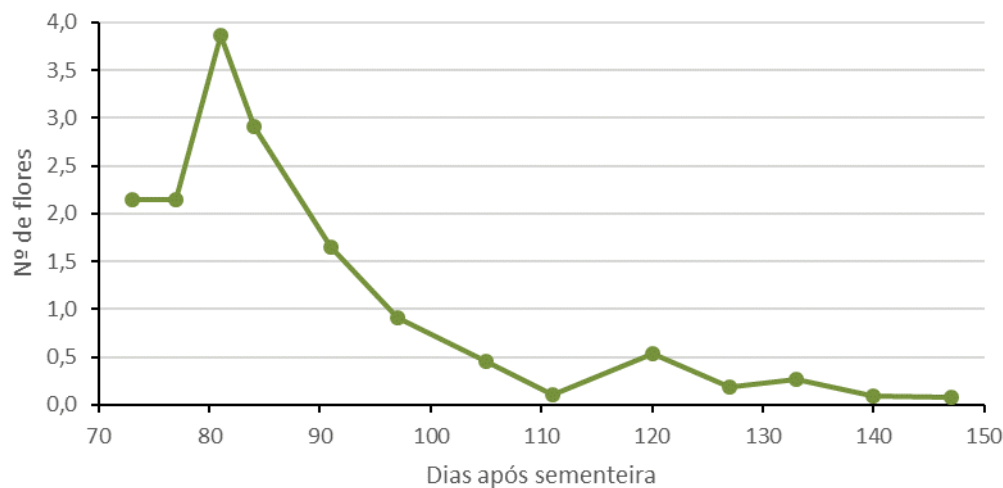


Figura 4.34. Evolução do número médio de flores ao longo das medições efetuadas.

Variedades

A variedade V 1 (Fig. 4.35) foi a que teve um maior número médio de flores ($p < 0,05$; 1,3 flores).

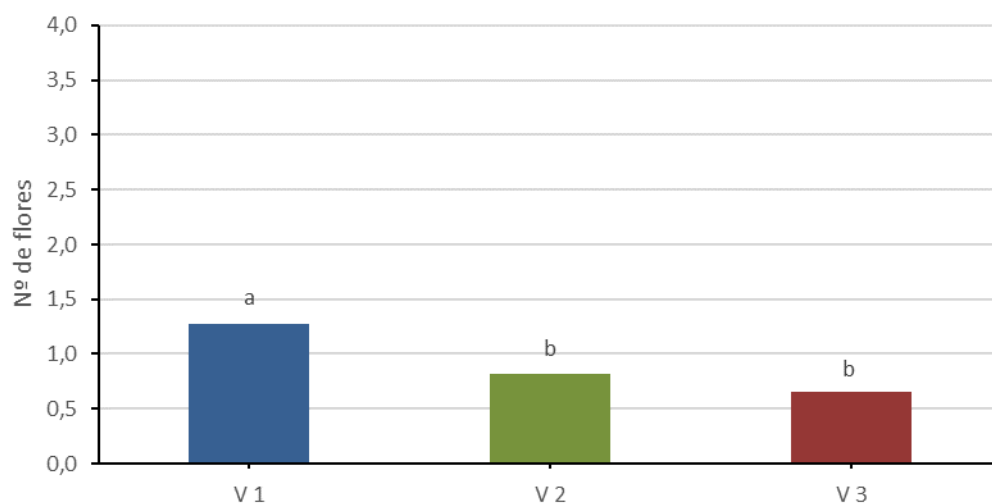


Figura 4.35. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no número médio de flores. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O déficit hídrico ocorrido durante as fases vegetativa e reprodutiva (R 1) provocou uma diminuição ($p < 0,05$) no número médio de flores (0,8 flores) relativamente ao déficit ocorrido apenas durante a fase reprodutiva (R 2.2; 1,1 flores) e ao grupo controlo (R 0; 1,2 flores), como mostra a Figura 4.36.

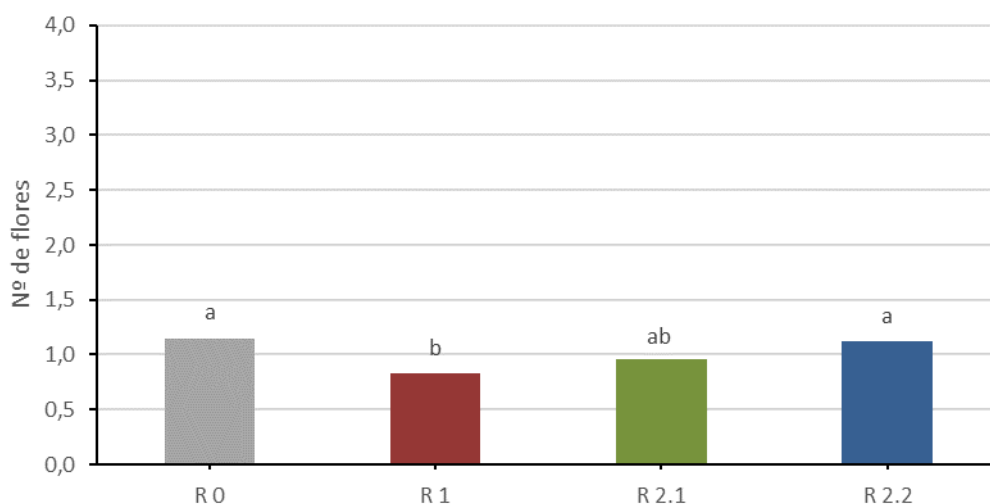


Figura 4.36. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no número médio de flores. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico), durante ambas as fases de desenvolvimento.

A análise do efeito do déficit hídrico no número médio de flores revela algumas diferenças entre cada uma das variedades (Fig. 4.37).

Nas variedades V 1 e V 3, o número médio de flores do tratamento R 1 (1,1 e 0,3 flores, respetivamente) foi mais baixo ($p<0,05$) do que o do tratamento R 0 (1,6 e 1,0 flores, respetivamente). Na variedade V 2 o tratamento R 2.2 foi o que apresentou o maior número médio de flores ($p<0,05$; 1,1 flores). Não foi observada nenhuma flor nas plantas do tratamento R 2.1 da variedade V 3.

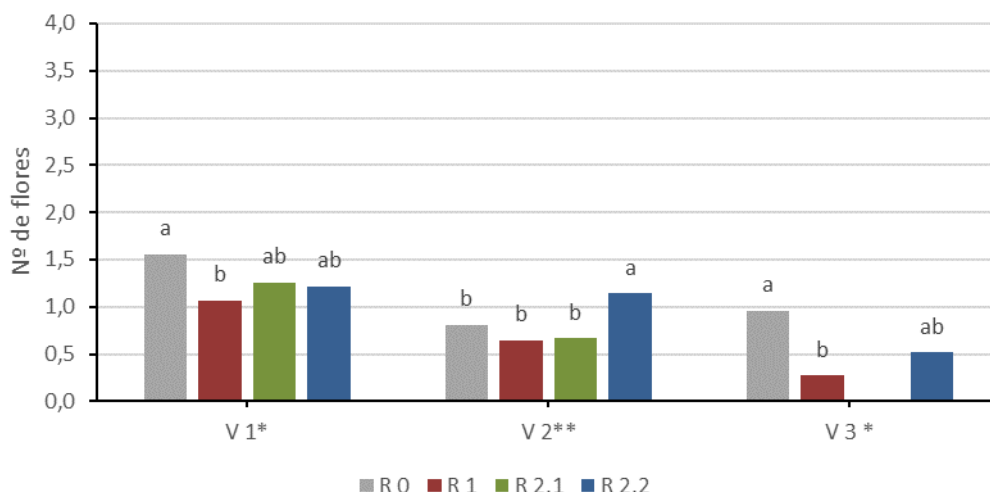


Figura 4.37. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no número médio de flores.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p<0,05$.

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p<0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições mostram-se apenas duas: 73 e 91 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/déficit hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 (ocorrida nesse dia). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após o mesmo intervalo de tempo (91 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o tratamento R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Aos 73 DAS (Fig. 4.38) não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

Aos 91 DAS, o número médio de flores do tratamento R 2.1 (0,8 flores) foi mais baixo ($p < 0,05$) do que o dos tratamentos R 0 e R 2.2 (2,1 e 2,3 flores, respetivamente).

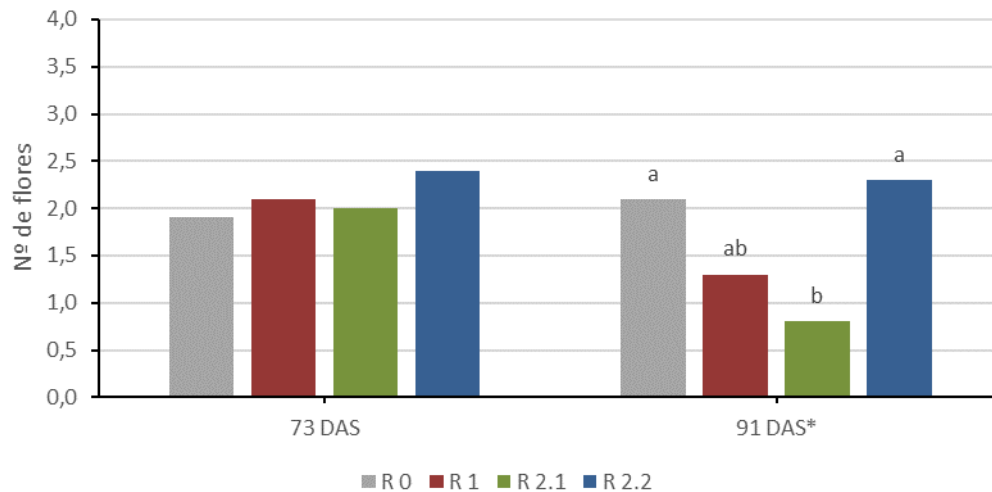


Figura 4.38. Interação entre os tratamentos de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) no número médio de flores.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

Interação entre os tratamentos, os dias após sementeira e as variedades

Na variedade V 1, aos 91 DAS (Fig. 4.39) e à semelhança do que sucedeu na análise global (Fig. 4.38), o défice hídrico restrito à fase vegetativa (R 2.1; 1,0 flores) esteve associado a um menor número médio de flores ($p < 0,05$) do que o controlo (R 0; 3,8 flores).

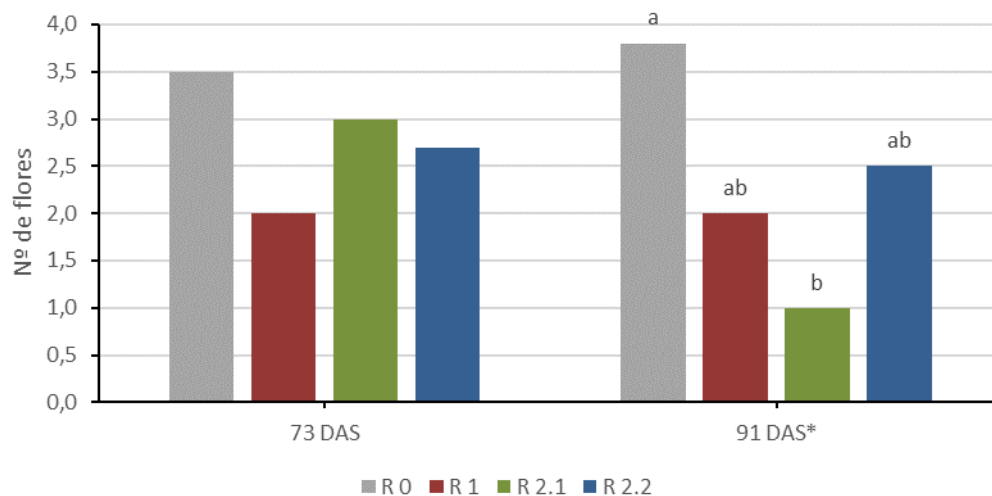


Figura 4.39. Interação entre os tratamentos de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 1, no número médio de flores.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

Na variedade V 2 (91 DAS, Fig. 4.40), as plantas que estiveram em déficit hídrico apenas durante a fase reprodutiva (R 2.2) apresentaram um maior número de flores ($p < 0,05$; 2,1 flores) relativamente às plantas dos restantes três tratamentos.

Nos dois dias apresentados, a variedade V 3 ainda não tinha entrado na fase reprodutiva.

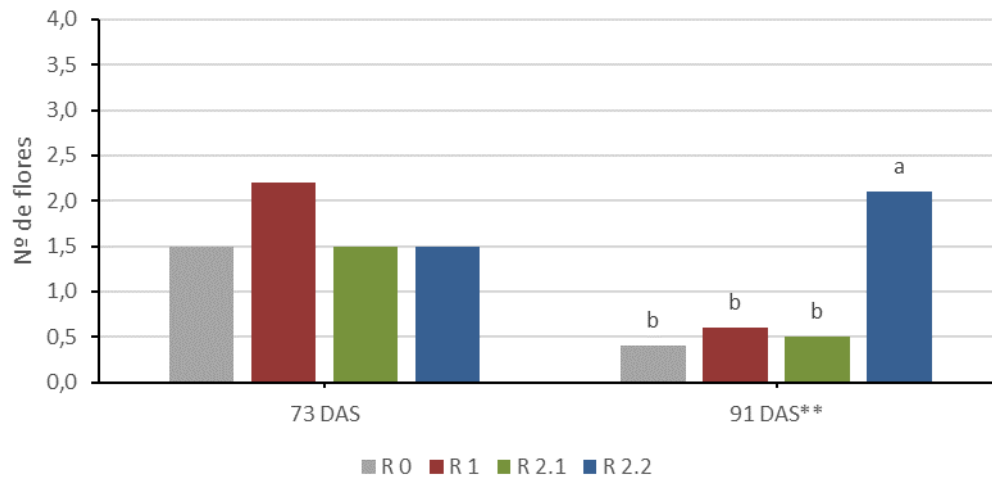


Figura 4.40. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 2, no número médio de flores.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após sementeira

Aos 73 DAS (Fig. 4.41), a variedade V 1 apresentou um número médio de flores maior ($p < 0,05$) do que a variedade V 2 (2,8 e 1,7 flores, respetivamente).

Aos 91 DAS não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as duas variedades, no que se refere ao número de flores.

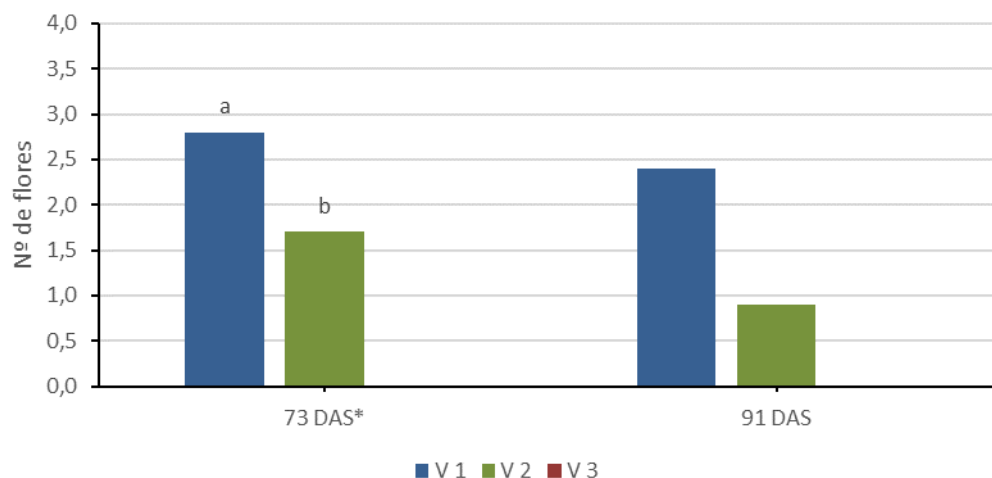


Figura 4.41. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (73 e 91 DAS) no número médio de flores.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

4.1.5. Número de vagens

Obteve-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,98 e um coeficiente de variação (CV) de 21%, que constituem bons indicadores da qualidade dos dados e da relevância das variáveis explicativas utilizadas.

Relativamente ao modelo testado, verificou-se que todas as variáveis definidas eram significativas ($p < 0,01$), com exceção de duas interações:

- Planta x Variedade x Dias após sementeira ($p < 0,05$);
- Tratamento x Dias após sementeira x Variedade (não significativa).

Evolução

A evolução do número médio de vagens segue uma curva aproximadamente sigmóide que parece estabilizar a partir dos 110 DAS (Fig. 4.42).

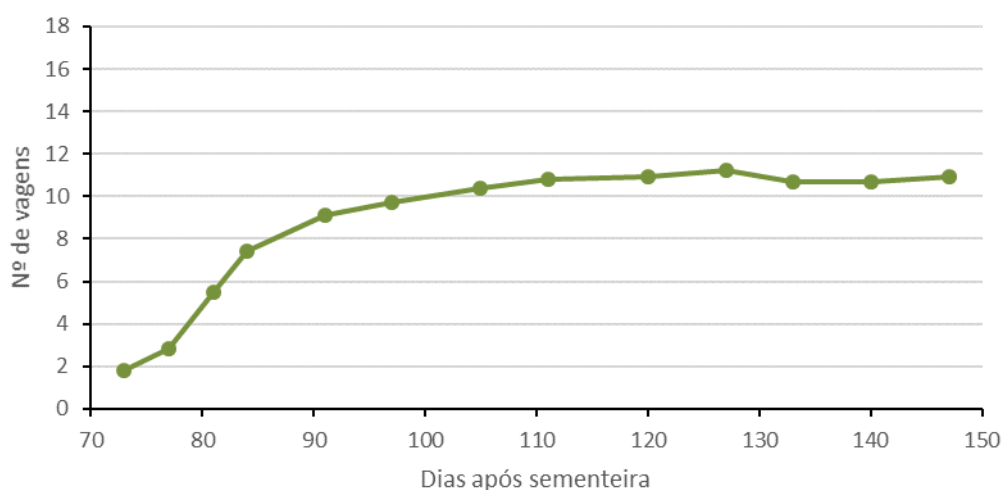


Figura 4.42. Evolução do número médio de vagens ao longo das medições efetuadas.

Variedades

A variedade V 1 foi a que apresentou o maior número médio de vagens ($p < 0,05$; 10,3 vagens), seguida da V 2 (9,5 vagens) e, por último, da V 3 (1,6 vagens; Fig. 4.43).

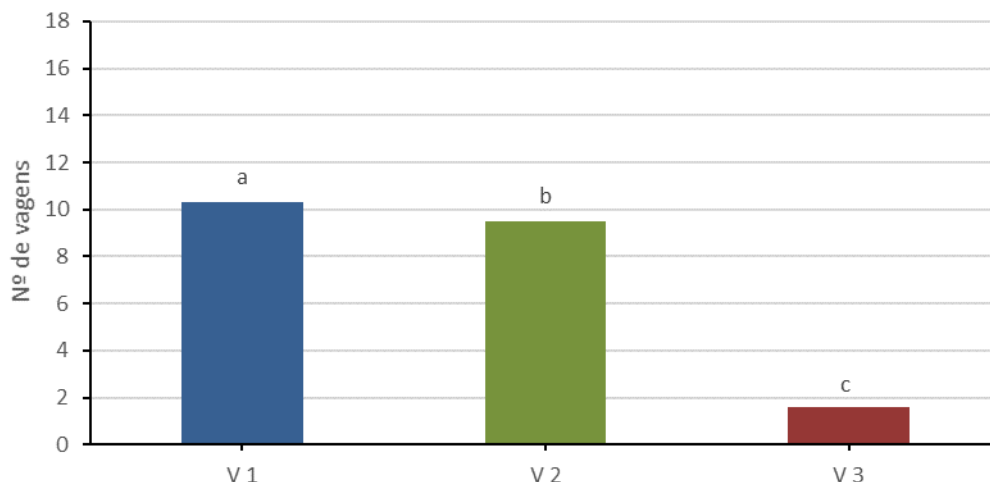


Figura 4.43. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no número médio de vagens. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O déficit ocorrido ao longo de ambas as fases (R 1; 4,5 vagens) teve o efeito mais acentuado na redução do número médio de vagens ($p < 0,05$) relativamente ao grupo controlo (R 0; 14,1 vagens; Fig. 4.44). Por outro lado, o déficit hídrico restrito à fase reprodutiva (R 2.2; 6,6 vagens) esteve associado a um número médio de vagens mais baixo do que o déficit restrito à fase vegetativa (R 2.1; 13,3 vagens).

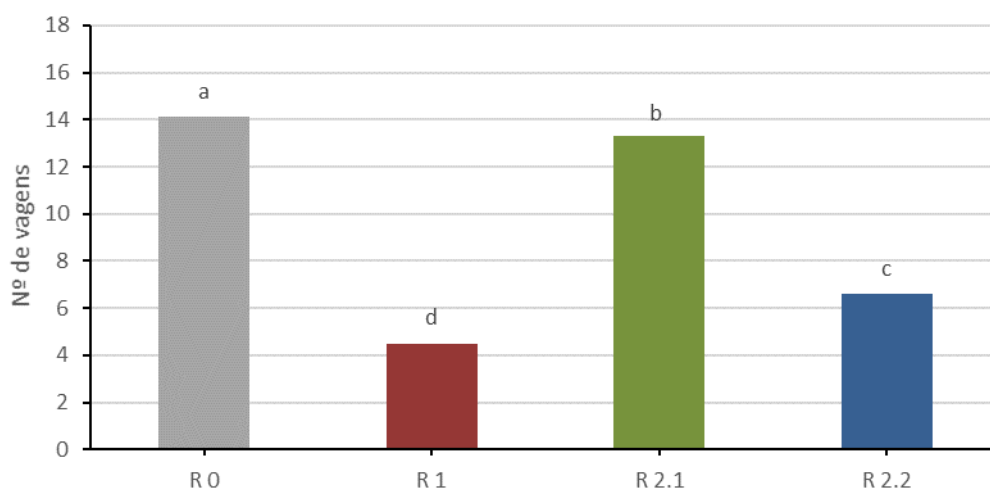


Figura 4.44. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no número médio de vagens. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico), nesta variedade em ambas as fases do desenvolvimento.

A análise da interação entre os quatro tratamentos e as três variedades (Fig. 4.45) revela diferenças entre estas.

Na variedade V 1 não se observaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o número médio de vagens produzido pelas plantas do tratamento R 2.1 (14,8 vagens) e o produzido pelas plantas do tratamento controlo (R 0; 15,4 vagens).

Na variedade V 2, o número médio de vagens produzido pelas plantas do tratamento R 2.1 (12,1 vagens) foi menor ($p < 0,05$) do que o das plantas do tratamento R 0 (14,0 vagens). No entanto, foi maior ($p < 0,05$) do que o das plantas dos tratamentos R 1 e R 2.2.

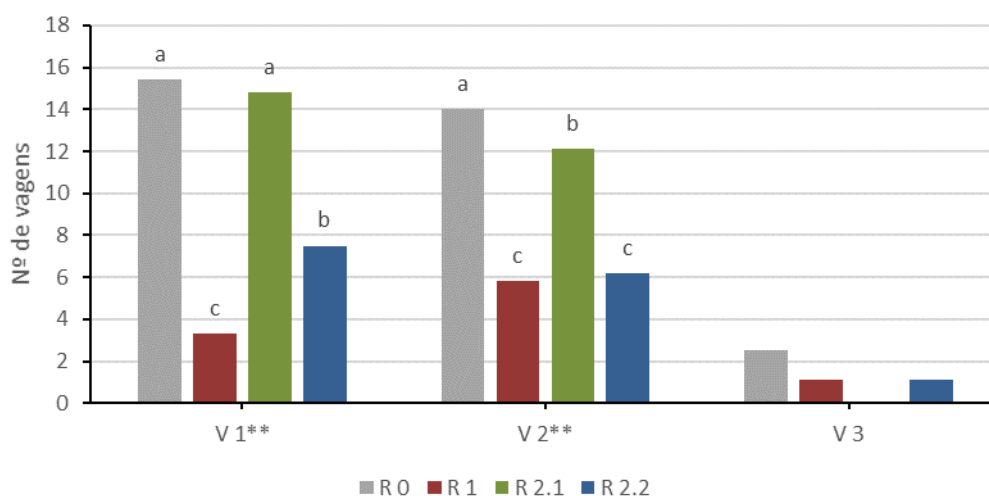


Figura 4.45. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no número médio de vagens.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições mostram-se apenas duas: 73 e 91 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/défice hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 (ocorrida nesse dia). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após esse intervalo de tempo (91 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (défice hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o tratamento R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Aos 73 DAS não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos (Fig. 4.46).

Aos 91 DAS as plantas do tratamento R 1 (4,7 vagens) apresentaram um número médio de vagens menor ($p < 0,05$) do que as plantas dos tratamentos R 0 e R 2.2 (15,0 e 8,3 vagens, respetivamente). No entanto, não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o efeito do déficit hídrico restrito à fase vegetativa (R 2.1) e o efeito do déficit restrito à fase reprodutiva (R 2.2) no número médio de vagens.

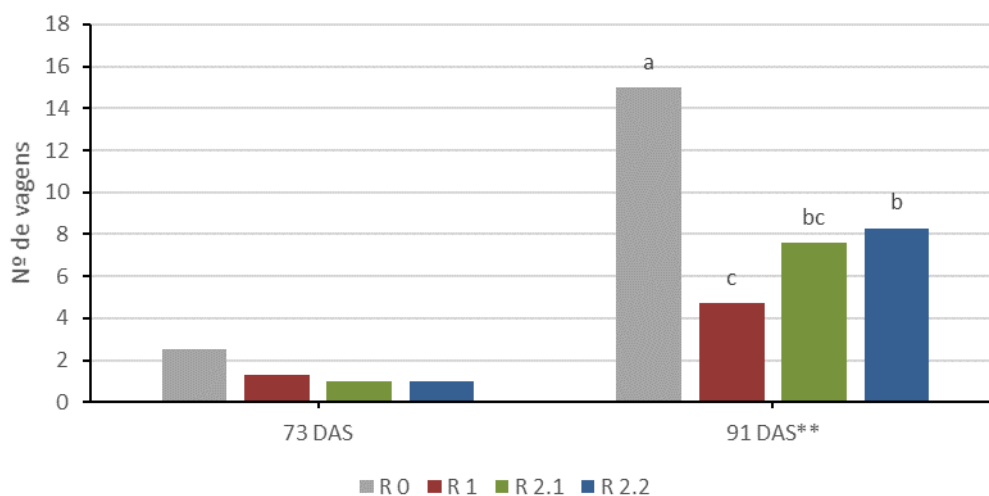


Figura 4.46. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) no número médio de vagens.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após semeadura e as variedades

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ($p < 0,05$) aos 73 DAS nas variedades V 1 e V 2 (Fig. 4.47 e 4.48). Por outro lado, neste dia e na variedade V 2, apenas as plantas dos tratamentos R 0 e R 1 tinham vagens.

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, não existiam vagens em nenhum dos dias apresentados nas plantas dessa variedade.

Aos 91 DAS, o número médio de vagens das plantas que estiveram sujeitas a déficit hídrico em ambas as fases de desenvolvimento (R 1) era inferior ao do controlo ($p < 0,05$), tanto na variedade V 1 como na V 2. Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os três tratamentos de déficit hídrico (R 1, R 2.1 e R 2.2) em nenhuma das duas variedades.

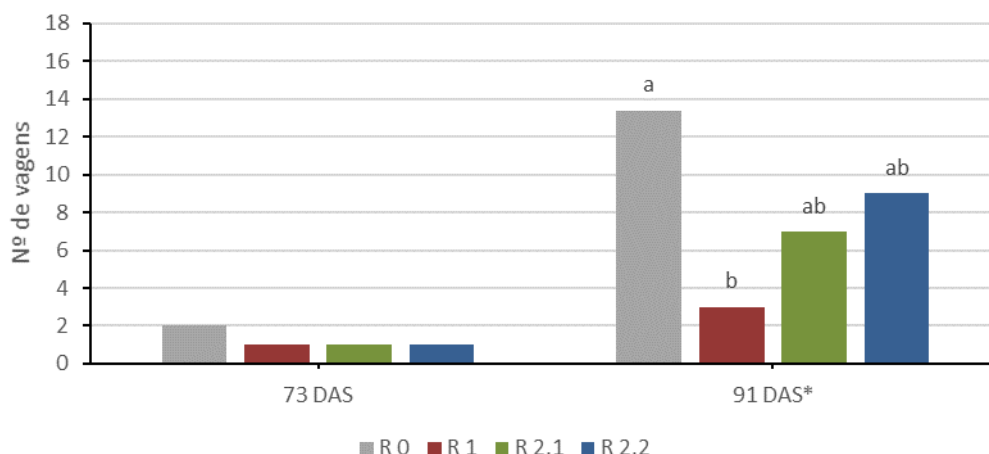


Figura 4.47. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 1, no número médio de vagens. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). * indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

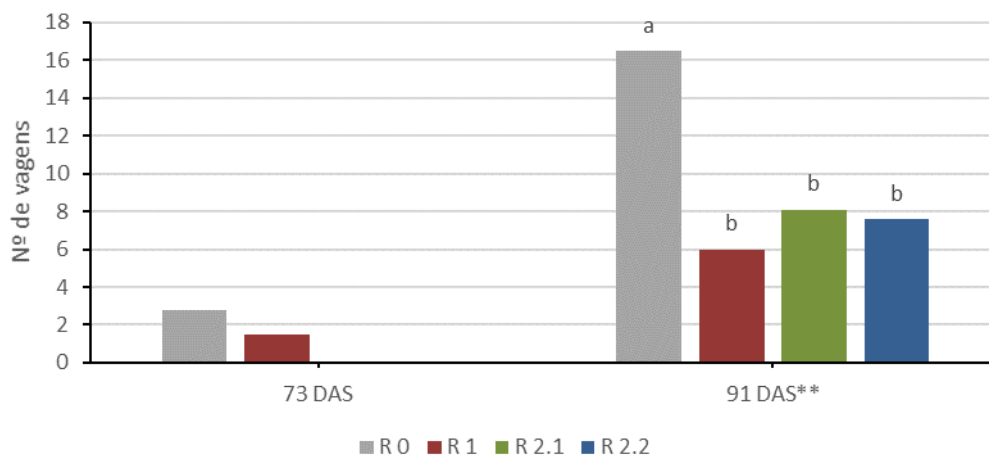


Figura 4.48. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (73 e 91 DAS) para a variedade V 2, no número médio de vagens. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após sementeira

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre variedades em nenhuma das medições apresentadas (Fig. 4.49).

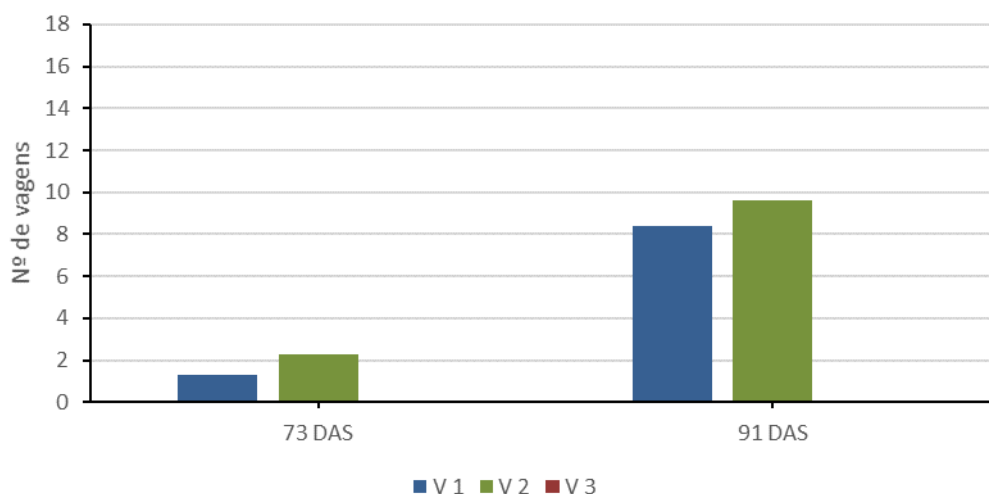


Figura 4.49. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (73 e 91 DAS) no número médio de vagens.

4.2. Atividade fotossintética

4.2.1. Taxa fotossintética

Obteve-se um coeficiente de determinação bastante alto ($R^2 = 0,99$) e um coeficiente de variação moderado ($CV = 22\%$), que constituem bons indicadores da qualidade dos dados e da adequabilidade das variáveis explicativas definidas.

As seguintes variáveis e interações apresentaram diferenças estatisticamente significativas:

- Dias após sementeira ($p < 0,01$);
- Tratamento ($p < 0,01$);
- Planta x Dias após sementeira ($p < 0,05$);
- Tratamento x Variedade ($p < 0,01$);
- Tratamento x Dias após sementeira ($p < 0,01$);
- Variedade x Dias após sementeira ($p < 0,05$).

Evolução

Parece ter havido uma diminuição no valor médio da taxa fotossintética que terá sido devida à senescência das plantas (Fig. 4.50).

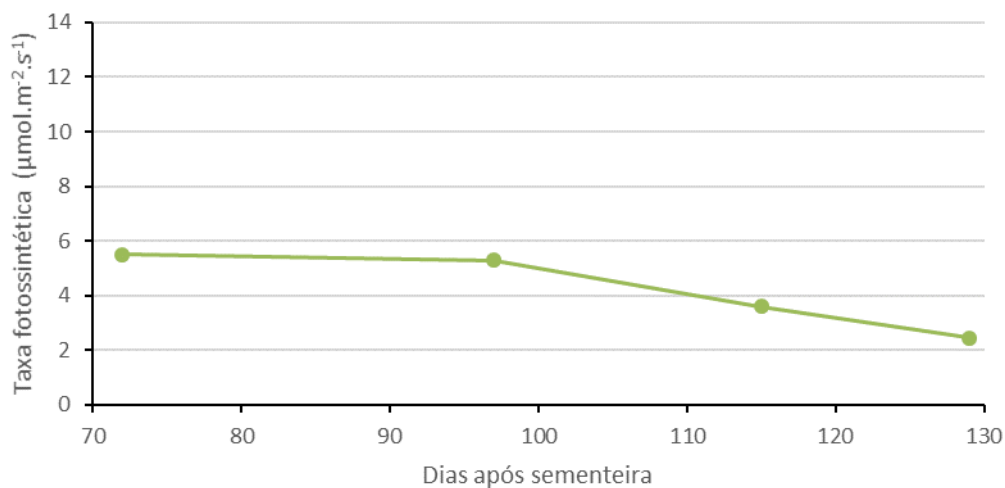


Figura 4.50. Evolução do valor médio da taxa fotossintética ao longo das medições efetuadas.

Variedades

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os valores médios da taxa fotossintética de cada uma das três variedades estudadas (Fig. 4.51).

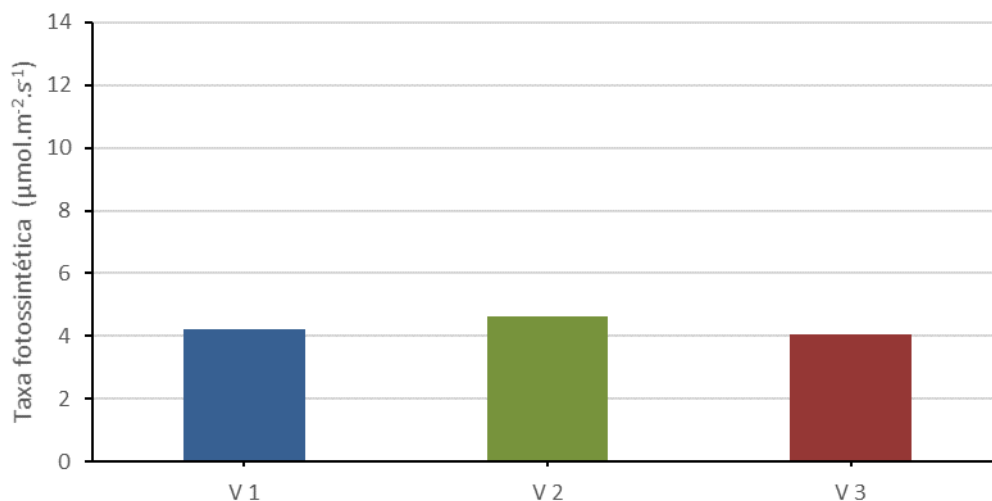


Figura 4.51. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da taxa fotossintética.

Tratamentos

Todos os tratamentos sob déficit hídrico apresentaram um valor médio da taxa fotossintética menor ($p < 0,05$) do que o controlo (R 0; Fig. 4.52). O menor valor médio ocorreu no tratamento R 1 (déficit em ambas as fases de desenvolvimento; $1,9 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Seguiu-se o tratamento R 2.1 (déficit restrito à fase vegetativa; $4,0 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e o tratamento R 2.2 (déficit restrito à fase reprodutiva; $5,0 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

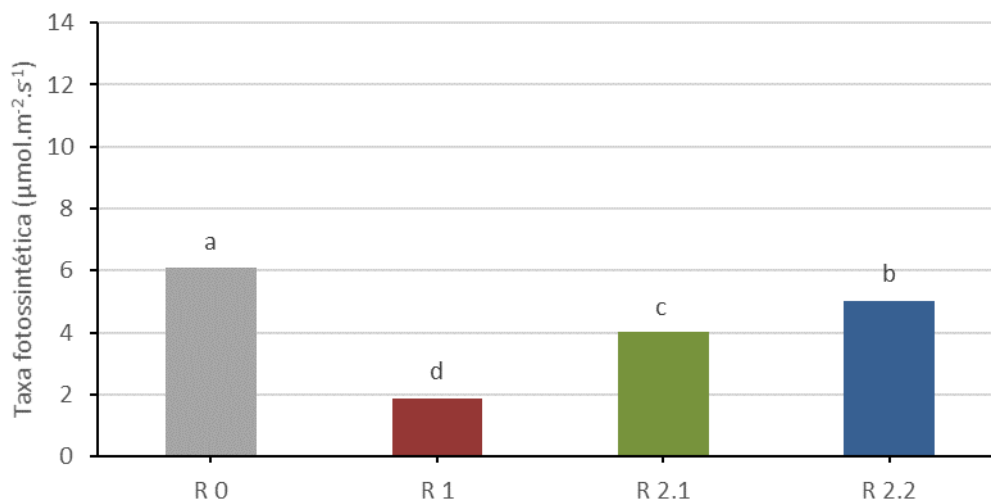


Figura 4.52. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da taxa fotossintética. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) nas plantas desta variedade em ambas as fases do desenvolvimento.

O efeito do déficit hídrico no valor médio da taxa fotossintética em cada uma das três variedades segue, aproximadamente, a tendência geral embora com algumas diferenças (Fig. 4.53).

Na variedade V 1 não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as duas fases em que o déficit esteve localizado (R 2.1 e R 2.2). No entanto, o déficit ocorrido em ambas as fases (vegetativa e reprodutiva; R 1) provocou uma diminuição ($p < 0,05$) mais acentuada no valor médio da taxa fotossintética do que quando se localizou em apenas uma das fases (R 2.1 ou R 2.2).

Na variedade V 2, o déficit hídrico só provocou uma diminuição do valor médio da taxa fotossintética ($p < 0,05$) quando ocorreu durante as duas fases do desenvolvimento da cultura ($R\ 1$; $1,5\ \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

Na variedade V 3, o déficit hídrico (tratamentos $R\ 1$ e $R\ 2.1$) esteve associado a valores médios da taxa fotossintética mais baixos ($p < 0,05$).

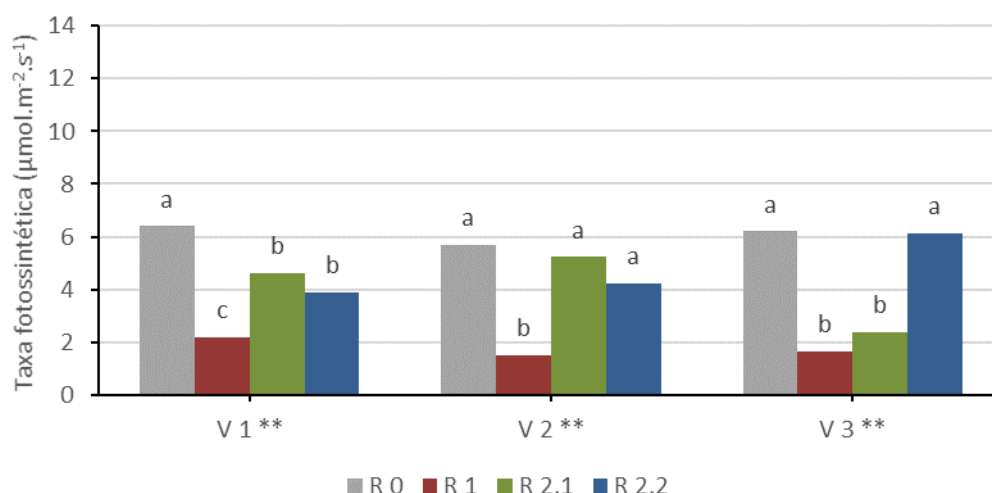


Figura 4.53. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico ($R\ 0$, $R\ 1$, $R\ 2.1$ e $R\ 2.2$) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da taxa fotossintética.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições mostram-se apenas duas: 72 e 97 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/déficit hídrico dos tratamentos $R\ 2.1$ e $R\ 2.2$ (ocorrida aos 73 DAS). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos $R\ 2.1$ e $R\ 2.2$ passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após o mesmo intervalo de tempo (97 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, as plantas do tratamento $R\ 2.1$ estiveram em condições hídricas semelhantes às do $R\ 1$ (déficit hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do $R\ 0$ (conforto hídrico) a partir desse dia. Sucedeu o inverso com o tratamento $R\ 2.2$.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos $R\ 2.1$ e $R\ 2.2$ não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Em ambas as medições apresentadas o déficit hídrico esteve associado a valores médios da taxa fotossintética mais baixos (Fig. 4.54).

Aos 72 DAS, o valor médio da taxa fotossintética dos tratamentos sujeitos a déficit hídrico (R 1 e R 2.1; 0,8 e 0,4 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ respetivamente) foi menor ($p<0,05$) do que o dos tratamentos em conforto (R 0 e R 2.2; 9,8 e 11,0 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ respetivamente). Por outro lado, não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$) entre tratamentos submetidos às mesmas condições hídricas (R 0/R 2.2 e R 1/R 2.1).

Aos 97 DAS, à semelhança do que sucedeu aos 72 DAS, os tratamentos sob déficit hídrico apresentaram uma taxa fotossintética média mais baixa ($p<0,05$) do que os tratamentos em conforto. No entanto, verificou-se que a taxa fotossintética média das plantas do tratamento R 2.1 (que estiveram sujeitas a condições de déficit hídrico até aos 73 DAS; 6,7 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) era menor ($p<0,05$) do que a do controlo (R 0; 9,2 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), o que poderá indicar que, até aos 97 DAS, a recuperação das plantas não foi completa no que se refere à taxa fotossintética.

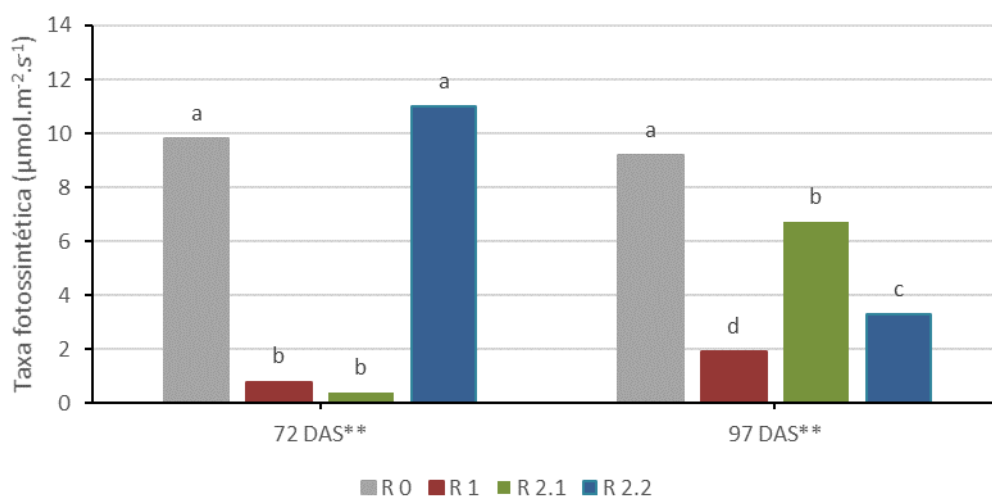


Figura 4.54. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da taxa fotossintética.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p<0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após sementeira e as variedades

O déficit hídrico esteve associado a valores médios da taxa fotossintética mais baixos ($p<0,05$) em ambas as medições, nas três variedades (Fig. 4.55 a 4.57).

Na variedade V 1 aos 97 DAS (Fig. 4.55), o valor médio da taxa fotossintética das plantas do tratamento R 2.1 era menor ($p<0,05$) do que o das plantas do tratamento R 0, à semelhança do que foi observado na análise global (Fig. 4.54).

Na variedade V 2 (Fig. 4.56), não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos que estavam sujeitos às mesmas condições hídricas em nenhuma das duas medições apresentadas, o que poderá indicar que a recuperação das plantas do tratamento R 2.1 após o restabelecimento das condições de conforto poderá ter sido mais rápido do que a recuperação das plantas da variedade V 1 (Fig. 4.55).

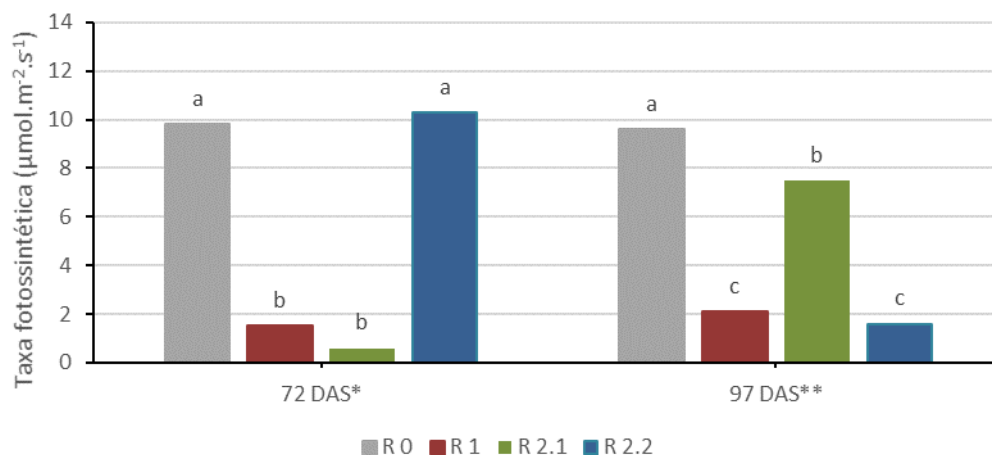


Figura 4.55. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da taxa fotossintética.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

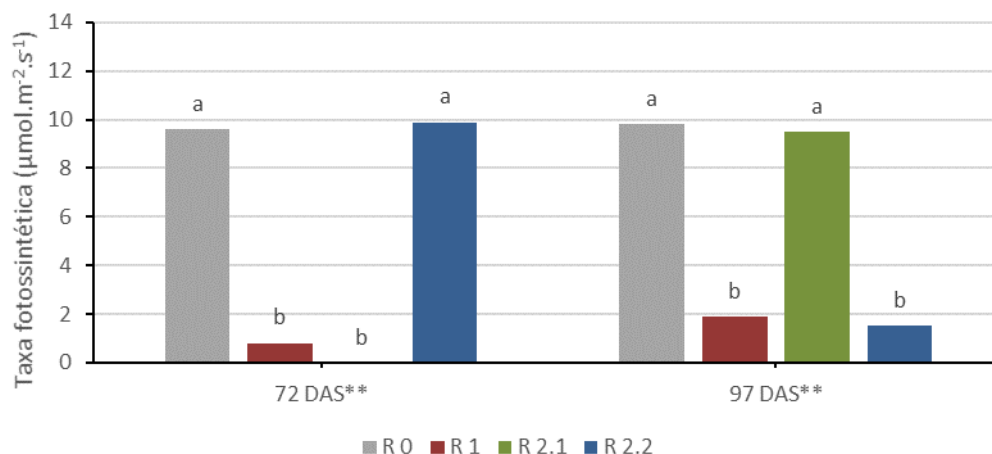


Figura 4.56. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da taxa fotossintética.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

À semelhança das variedades V 1 e V 2, as plantas da variedade V 3 sob déficit hídrico apresentaram valores médios da taxa fotossintética menores ($p < 0,05$; Fig. 4.57). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos sob as mesmas condições hídricas.

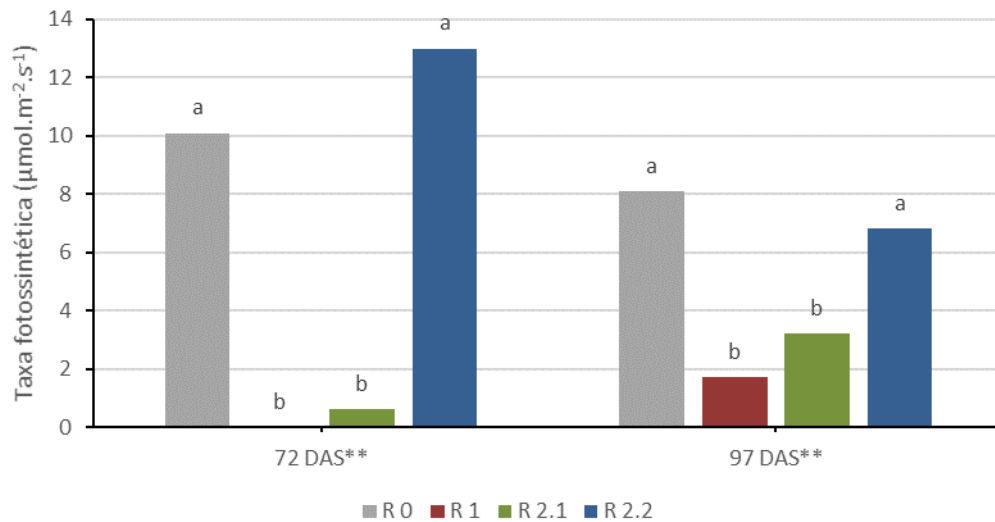


Figura 4.57. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da taxa fotossintética. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após sementeira

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) no valor médio da taxa fotossintética entre variedades em nenhuma das medições apresentadas (Fig. 4.58).

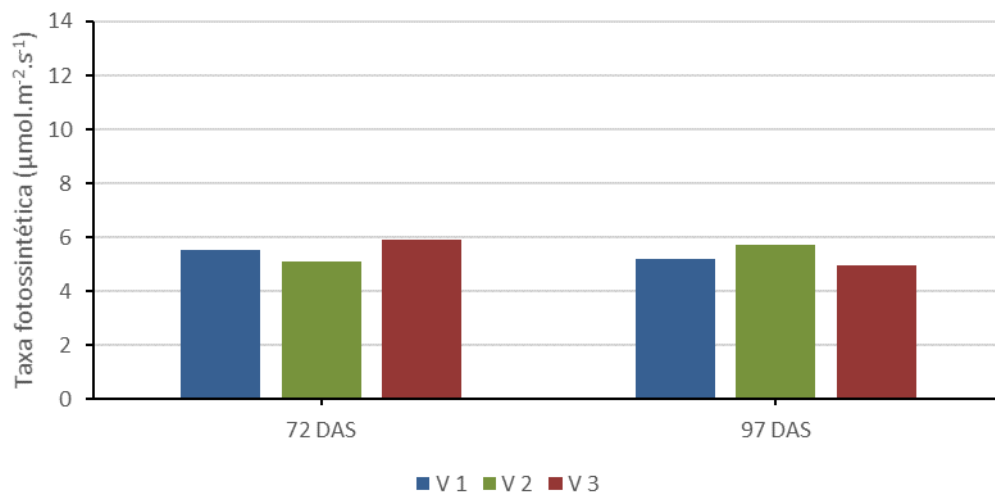


Figura 4.58. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da taxa fotossintética.

4.2.2. Taxa transpiratória

Embora o coeficiente de determinação encontrado seja elevado ($R^2 = 0,99$), obteve-se um coeficiente de variação também elevado ($CV = 43\%$) que poderá refletir diferenças entre as plantas das variedades analisadas, uma vez que as condições do ensaio foram idênticas para todas as variáveis e os equipamentos foram manuseados sempre pelo mesmo operador.

Verificou-se que as seguintes variáveis e interações apresentavam diferenças estatisticamente significativas no modelo definido:

- Dias após sementeira ($p < 0,05$);
- Tratamento ($p < 0,05$);
- Tratamento x Dias após sementeira ($p < 0,01$).

Evolução

O valor médio da taxa transpiratória manteve-se aproximadamente estável ao longo das medições efetuadas (Fig. 4.59).

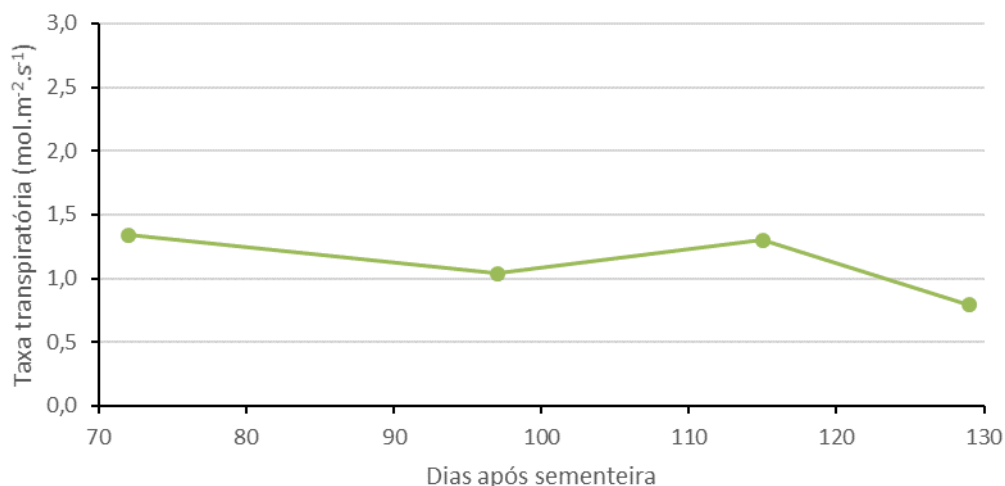


Figura 4.59. Evolução do valor médio da taxa transpiratória ao longo das medições efetuadas.

Variedades

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) no valor médio da taxa transpiratória entre as três variedades analisadas (Fig. 4.60).

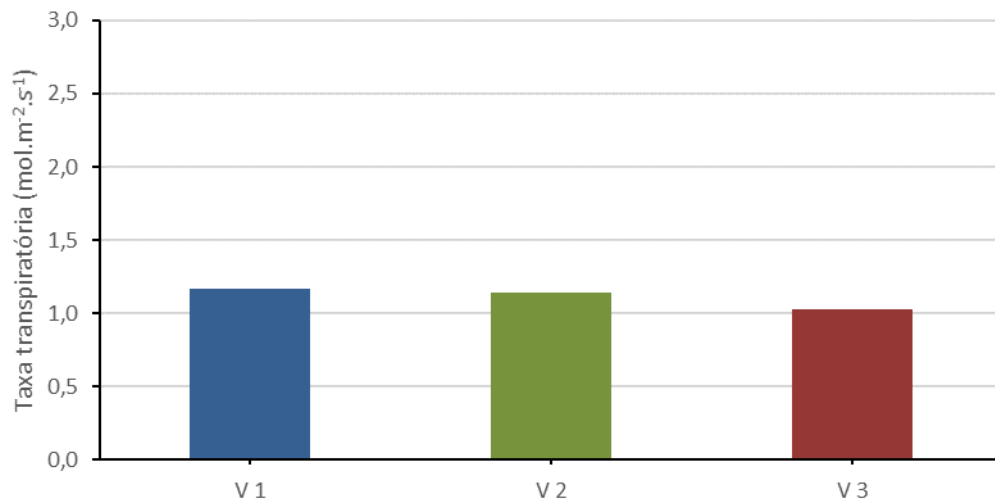


Figura 4.60. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da taxa transpiratória.

Tratamentos

O valor médio da taxa transpiratória das plantas em que o déficit hídrico se restringiu à fase vegetativa (R 2.1; 1,0 mol.m⁻².s⁻¹) foi menor ($p < 0,05$) do que o das plantas em que o déficit se restringiu à fase reprodutiva (R 2.2; 1,4 mol.m⁻².s⁻¹; Fig. 4.61). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre este tratamento e o controlo (R 0; 1,3 mol.m⁻².s⁻¹), nem entre o tratamento R 2.1 e o tratamento R 1 (déficit em ambas as fases; 0,8 mol.m⁻².s⁻¹).

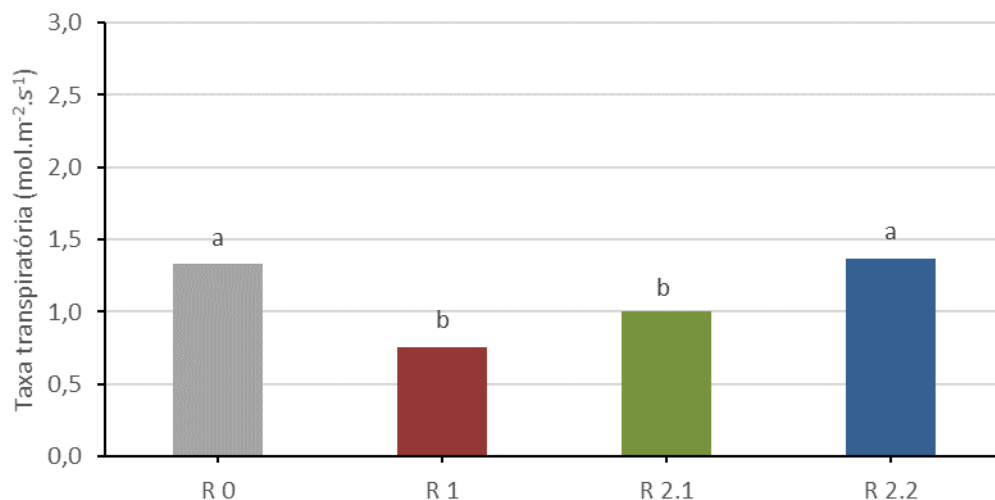


Figura 4.61. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da taxa transpiratória. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) nas plantas desta variedade em ambas as fases de desenvolvimento.

Na variedade V 1, as plantas que estiveram sob déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva (R 1) foram as que apresentaram o valor médio mais baixo da taxa transpiratória ($p < 0,05$; $0,8 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; Fig. 4.62). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o valor médio da taxa transpiratória das plantas do tratamento R 2.1 ($1,3 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e o das plantas do tratamento R 2.2 ($1,3 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

Na variedade V 2 não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre a taxa transpiratória das plantas do tratamento R 2.1 ($1,3 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), as do tratamento R 2.2 ($1,0 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e as do controlo (R 0; $1,2 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

Na variedade V 3, o déficit hídrico esteve associado a valores médios mais baixos ($p < 0,05$) da taxa transpiratória.

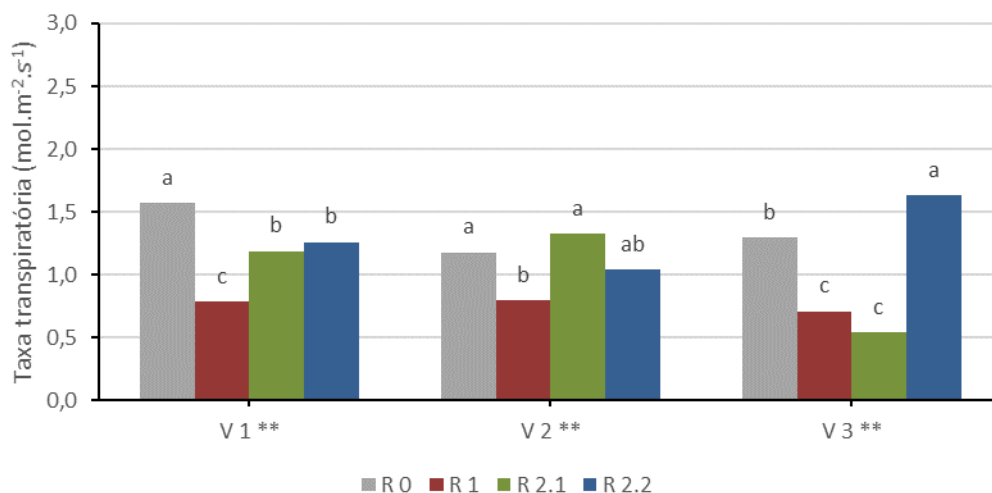


Figura 4.62. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da taxa transpiratória. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições, mostram-se apenas duas: 72 e 97 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/déficit hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 (ocorrida aos 73 DAS). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após o mesmo intervalo de tempo (97 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o tratamento R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Em ambas as medições apresentadas (Fig. 4.63) as plantas sob déficit hídrico (R 1 e R 2.1 aos 72 DAS; R 1 e R 2.2 aos 97 DAS) tiveram valores médios da taxa transpiratória mais baixos ($p < 0,05$).

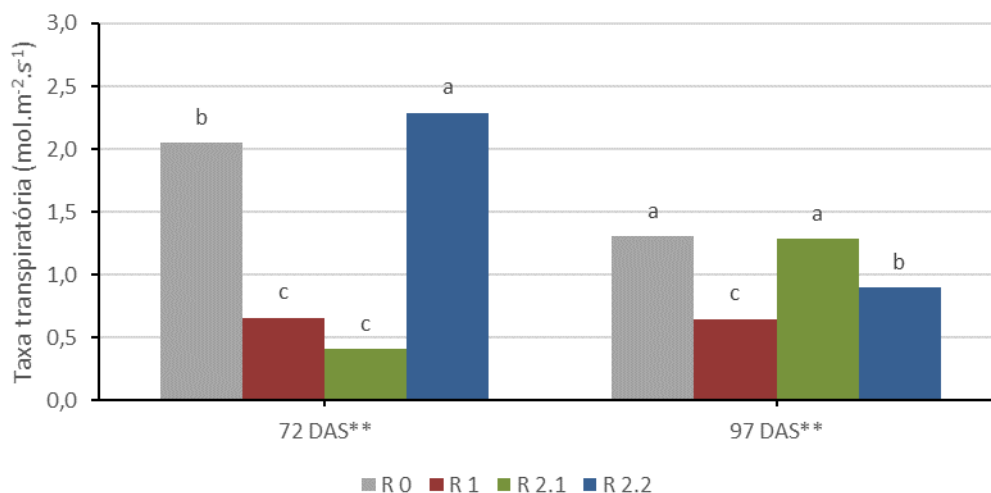


Figura 4.63. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da taxa transpiratória.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após sementeira e as variedades

O défice hídrico esteve associado a taxas transpiratórias mais baixas ($p < 0,05$) nos dois dias apresentados nas variedades V 1 e V 2 (Fig. 4.64 e 4.65).

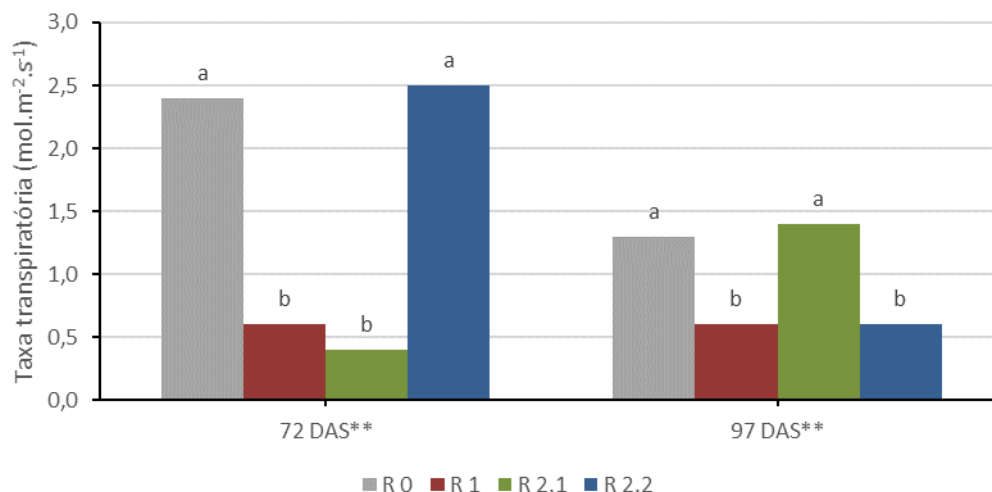


Figura 4.64. Interação entre os tratamentos de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da taxa transpiratória.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

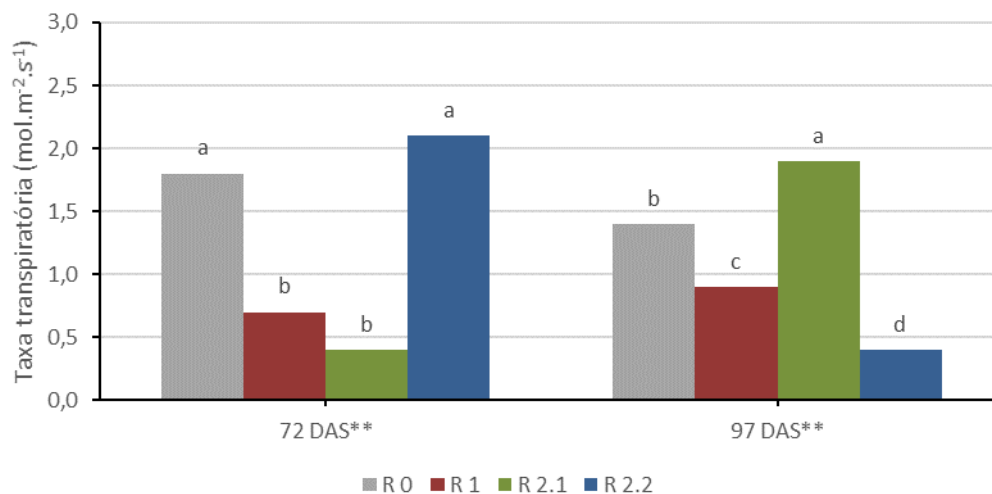


Figura 4.65. Interação entre os tratamentos de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da taxa transpiratória.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Aos 72 DAS (Fig. 4.66) as plantas da variedade V 3 que estavam sob défice hídrico (R 1 e R 2.1) apresentaram taxas transpiratórias mais baixas ($p < 0,05$; 0,4 mol.m⁻².s⁻¹) do que as restantes (R 0 e R 2.2; 1,9 e 2,8 mol.m⁻².s⁻¹, respetivamente).

Aos 97 DAS não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o tratamento R 2.1 (déficit hídrico; $0,7 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e o controlo (conforto hídrico; $1,2 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), nem entre os dois tratamentos sob déficit hídrico (R 1 e R 2.1; $0,5$ e $0,7 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respetivamente).

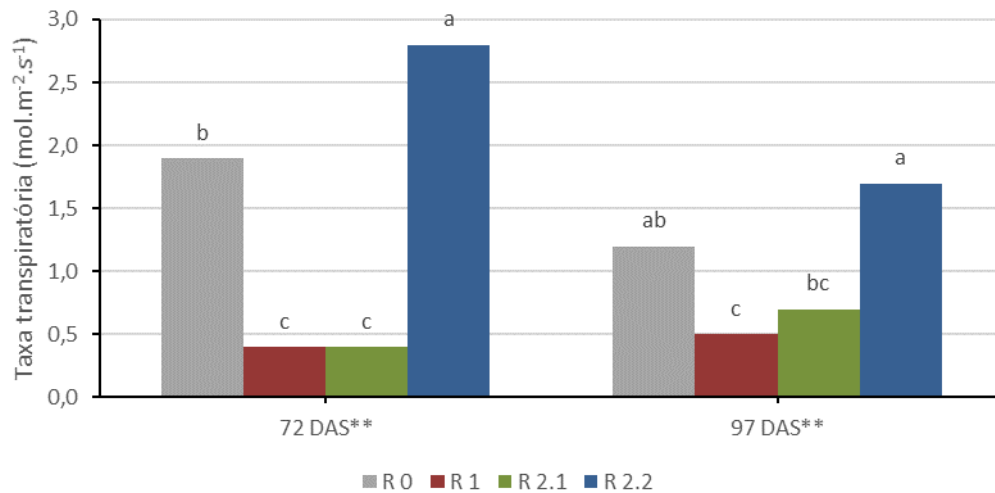


Figura 4.66. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da taxa transpiratória. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após sementeira

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre variedades em nenhuma das duas medições apresentadas (Fig. 4.67).

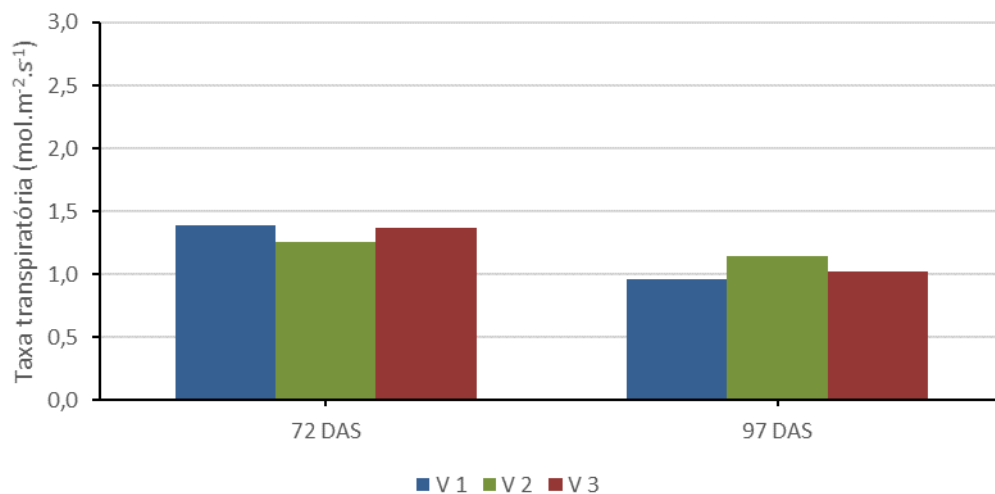


Figura 4.67. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da taxa transpiratória.

4.2.3. Condutância estomática

Obteve-se um coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,99$). No entanto, o coeficiente de variação dos valores medidos é, também, elevado ($CV = 43\%$), presumivelmente devido às razões anteriormente referidas a propósito da taxa transpiratória (4.2.2).

Verificou-se que as seguintes variáveis e interações eram estatisticamente significativas para o modelo definido:

- Variedade ($p < 0,05$);
- Tratamento ($p < 0,01$);
- Tratamento x Variedade ($p < 0,05$);
- Tratamento x Dias após sementeira ($p < 0,05$).

Evolução

O valor médio da condutância estomática manteve-se aproximadamente estável ao longo das medições efetuadas (Fig. 4.68).

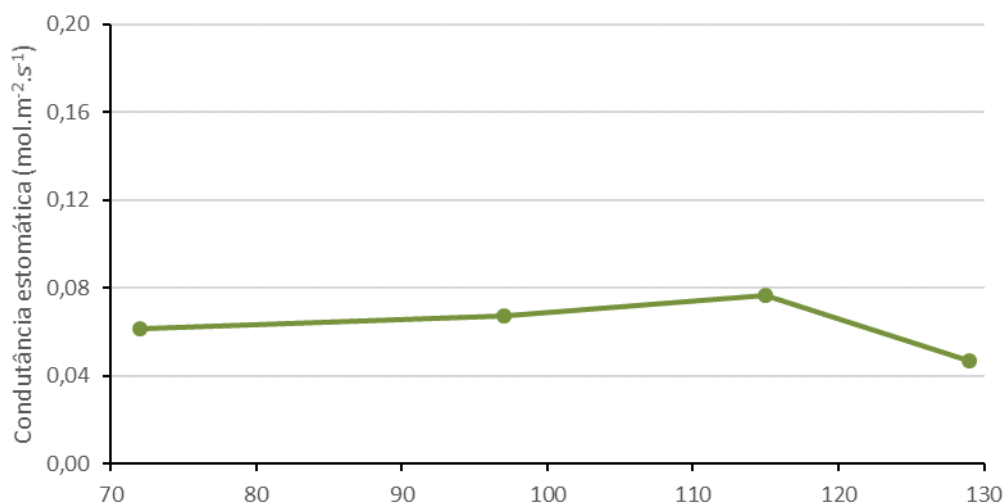


Figura 4.68. Evolução do valor médio da condutância estomática ao longo das medições efetuadas.

Variedades

O valor médio da condutância estomática da variedade V 3 foi menor ($p < 0,05$; $0,05 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) do que o da variedade V 1 ($0,08 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; Fig. 4.69).

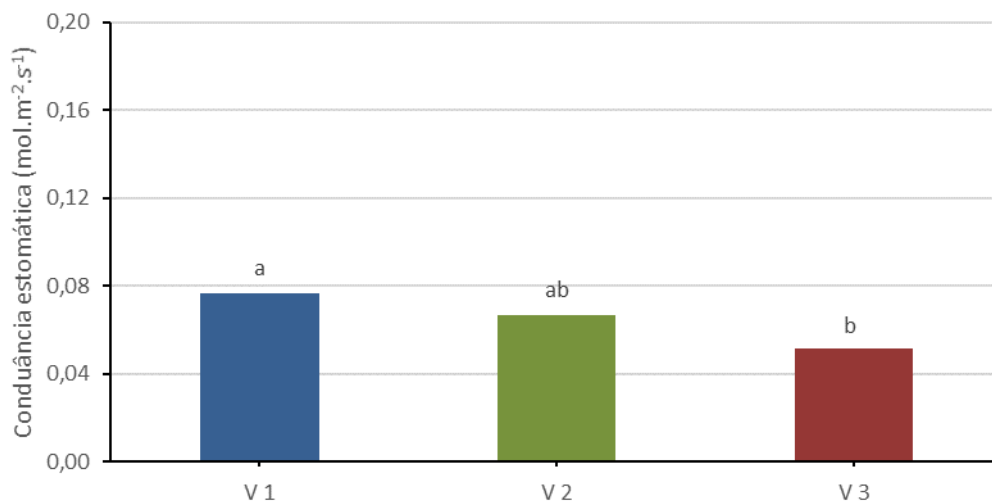


Figura 4.69. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da condutância estomática.

Tratamentos

O déficit hídrico provocou uma diminuição da condutância estomática (Fig. 4.70). Por outro lado, o déficit ocorrido durante as fases vegetativa e reprodutiva (R 1) levou a uma diminuição mais acentuada ($p < 0,05$; $0,03 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na condutância estomática do que quando restrito à fase reprodutiva (R 2.2; $0,07 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

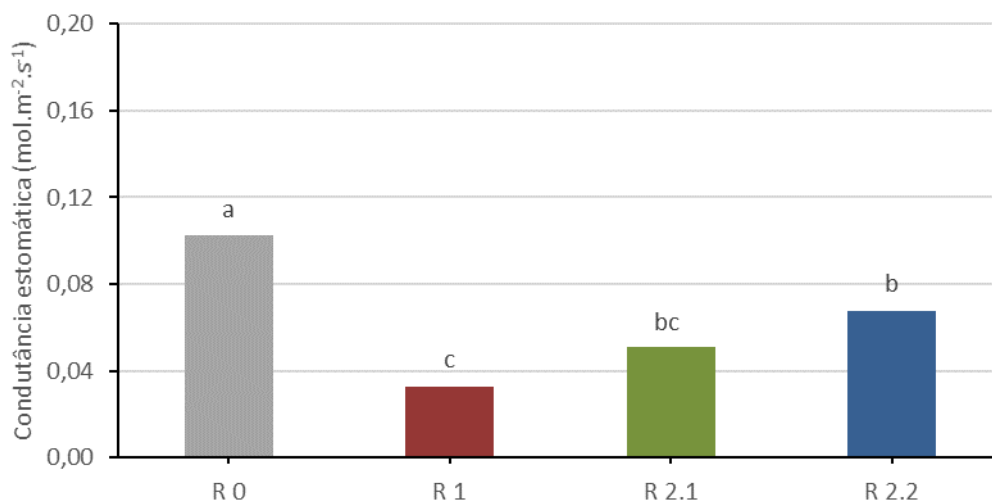


Figura 4.70. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da condutância estomática.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico), nas plantas desta variedade, nas duas fases do desenvolvimento.

Observaram-se algumas diferenças entre a resposta de cada uma das variedades ao déficit hídrico (Fig. 4.71).

Na variedade V 1 o valor médio da condutância estomática foi menor nas plantas sujeitas a déficit hídrico ($p < 0,05$) do que nas plantas do tratamento controlo (R 0; $0,16 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

Na variedade V 2, as plantas que estiveram em déficit hídrico em ambas as fases (R 1) apresentaram um valor médio da condutância estomática menor ($p < 0,05$; $0,03 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) do que o das plantas do grupo controlo (R 0; $0,09 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

Na variedade V 3, as plantas sob déficit hídrico (R 1 e R 2.1) apresentaram valores médios da condutância estomática menores ($p < 0,05$; $0,03$ e $0,02 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respetivamente) do que os das plantas em conforto hídrico (R 0 e R 2.2; $0,07$ e $0,08 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respetivamente).

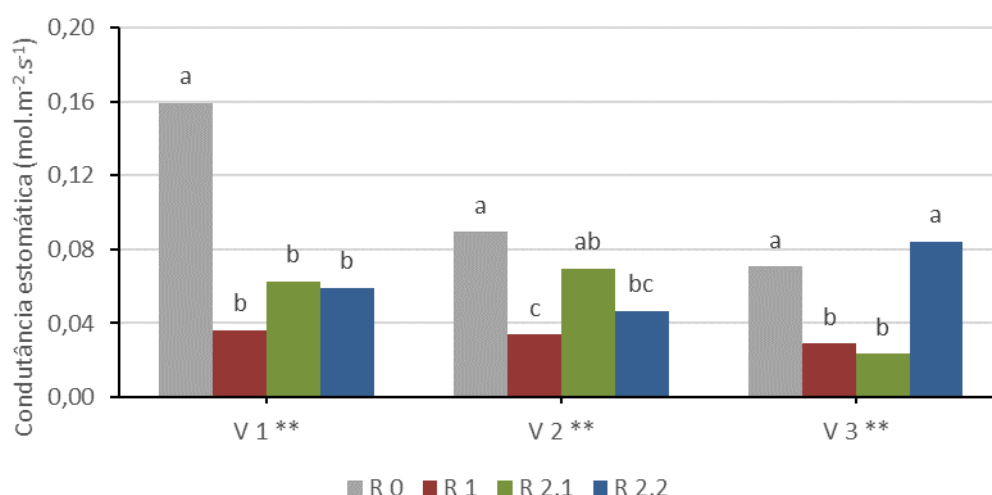


Figura 4.71. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da condutância estomática.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições mostram-se apenas duas: 72 e 97 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/déficit hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 (ocorrida aos 73 DAS). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após o mesmo intervalo de tempo (97 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o tratamento R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

O valor médio da condutância estomática foi menor ($p < 0,05$) nos tratamentos sob déficit hídrico em ambos os dias apresentados (Fig. 4.72).

Aos 97 DAS o valor médio da condutância estomática do tratamento R 2.1 ($0,06 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) foi menor do que o do controlo (R 0; $0,14 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), mas maior ($p < 0,05$) do que o dos dois tratamentos em déficit hídrico (R 1 e R 2.2; $0,03$ e $0,04 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respetivamente).

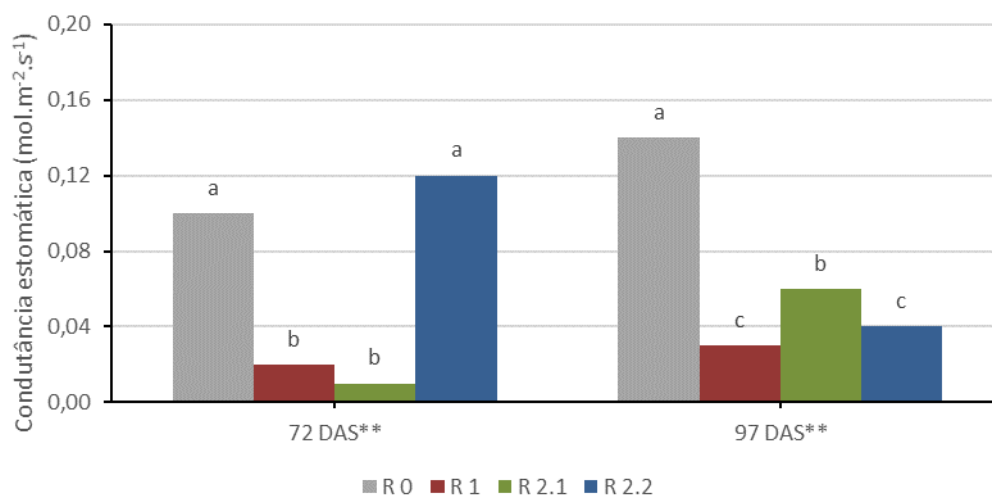


Figura 4.72. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da condutância estomática.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após sementeira e as variedades

Na variedade V 1, as plantas sujeitas a déficit hídrico apresentaram valores médios mais baixos da condutância estomática (Fig. 4.73).

Aos 97 DAS o valor médio da condutância estomática das plantas do tratamento R 2.1 era menor ($p < 0,05$) do que o das plantas controlo (R 0), mas maior do que o das plantas dos dois tratamentos sob déficit hídrico (R 1 e R 2.2), o que indica que a recuperação das plantas que estiveram sob déficit hídrico durante a fase vegetativa e que neste dia já estavam em conforto (R 2.1; variedades V 1 e V 2) pode não ter sido completa no que se refere a esta variável dependente (Fig. 4.73 e 4.74).

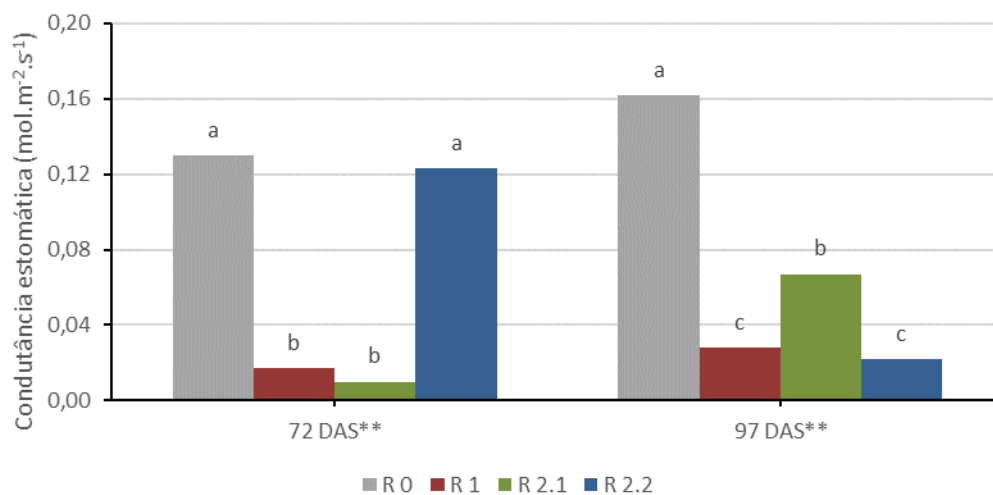


Figura 4.73. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da condutância estomática. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

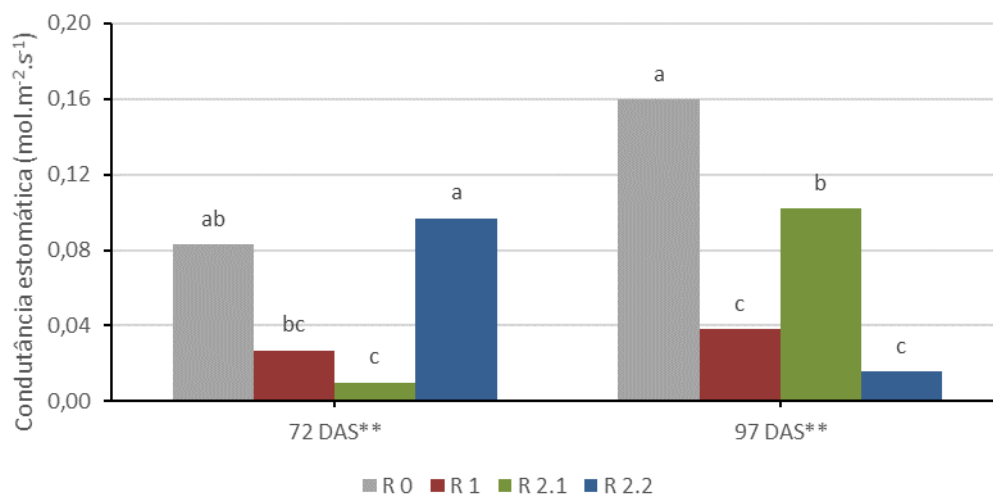


Figura 4.74. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da condutância estomática. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Na variedade V 3 (Fig. 4.75), à semelhança do que sucedeu na variedade V 1, o valor médio da condutância estomática das plantas sob condições de déficit hídrico (R 1 e R 2.1) foi menor do que o das restantes ($p < 0,05$; R 0 e R 2.2).

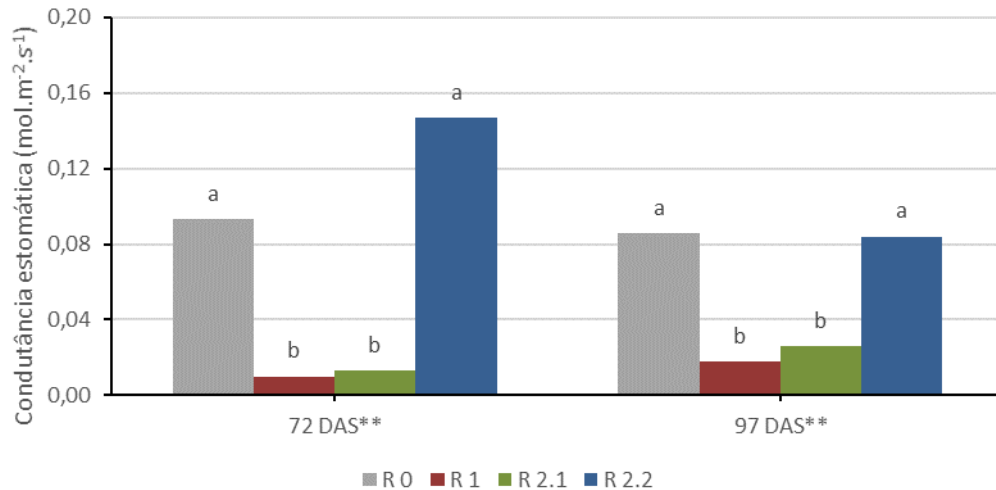


Figura 4.75. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da condutância estomática. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após sementeira

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) no valor médio da condutância estomática entre variedades em nenhum dos dois dias apresentados (Fig. 4.76).

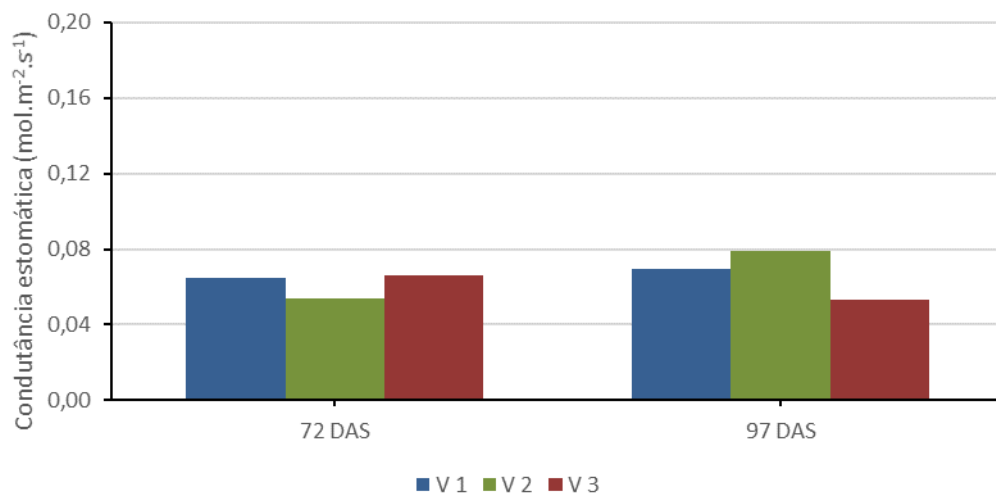


Figura 4.76. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da condutância estomática.

4.2.4. Concentração sub-estomática de CO₂

Obteve-se um coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,99$) e um coeficiente de variação moderado ($CV = 25\%$).

Os dias após sementeira foram a única variável estatisticamente significativa para o modelo definido ($p < 0,05$).

Evolução

A concentração sub-estomática de CO₂ manteve-se aproximadamente estável ao longo das medições efetuadas (Fig. 4.77).

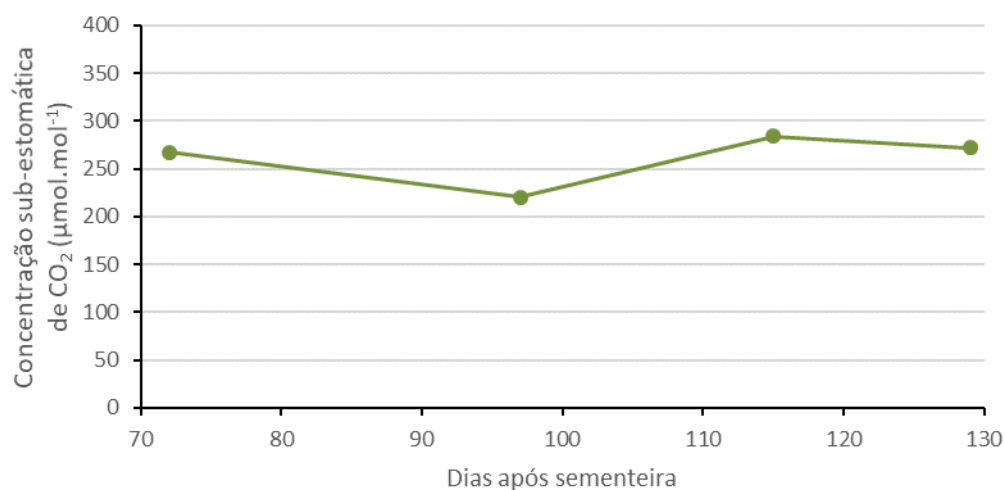


Figura 4.77. Evolução do valor médio da concentração sub-estomática de CO₂ ao longo das medições efetuadas.

Variedades

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os valores médios da concentração sub-estomática de CO_2 das três variedades (Fig. 4.78).

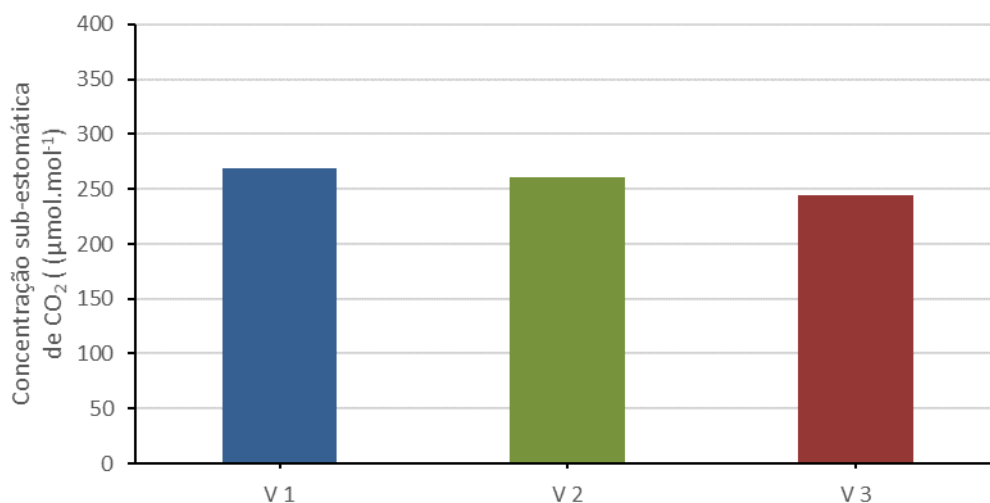


Figura 4.78. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da concentração sub-estomática de CO_2 .

Tratamentos

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos (Fig. 4.79).

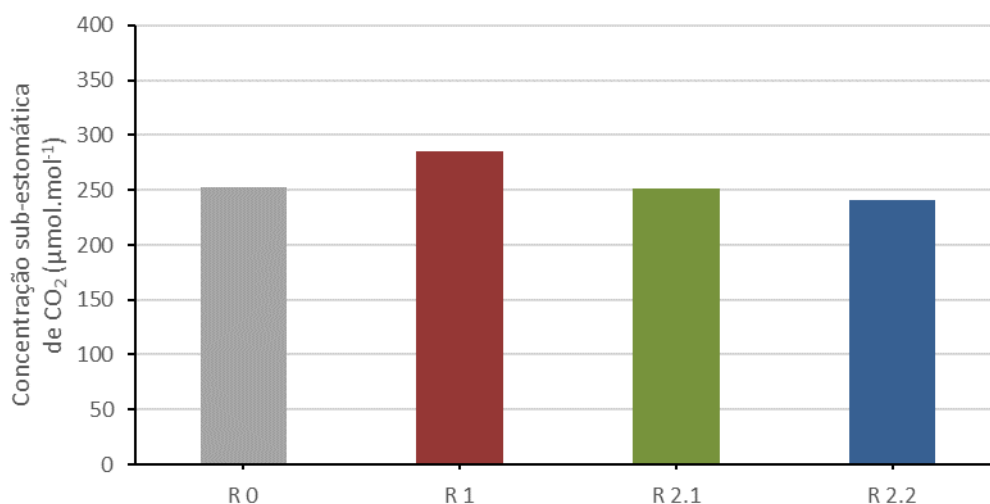


Figura 4.79. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da concentração sub-estomática de CO_2 .

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) nas plantas desta variedade em ambas as fases do desenvolvimento.

Apenas se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos na variedade V 3 (Fig. 4.80). Nesta, o valor médio da concentração sub-estomática de CO₂ das plantas do tratamento R 1 (déficit hídrico) foi maior ($p < 0,05$) do que a das restantes apesar de, nesta variedade, as condições do tratamento R 2.1 terem sido idênticas às do tratamento R 1.

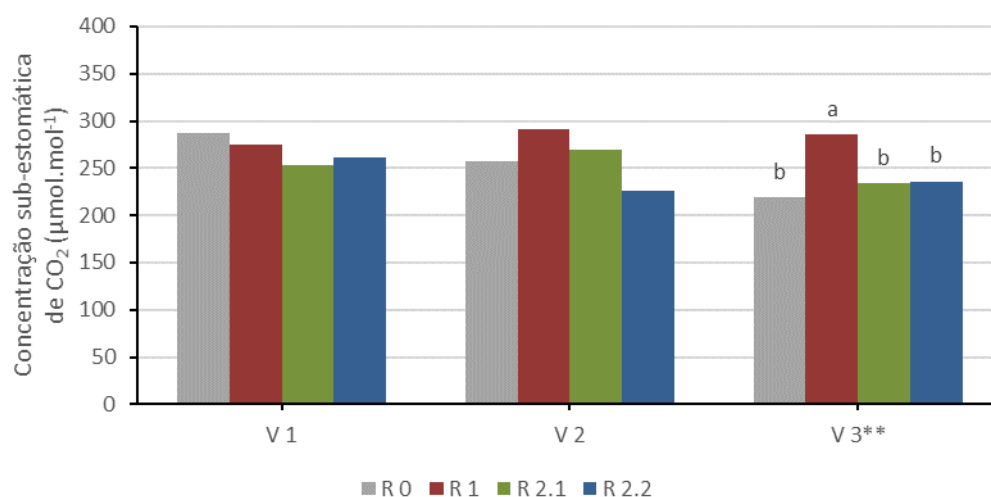


Figura 4.80. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da concentração sub-estomática de CO₂. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições mostram-se apenas duas: 72 e 97 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/déficit hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 (ocorrida aos 73 DAS). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada aproximadamente após o mesmo intervalo de tempo (97 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o tratamento R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Aos 72 DAS, os dois tratamentos sob déficit hídrico (R 1 e R 2.1) apresentaram um valor médio da concentração sub-estomática de CO₂ maior ($p < 0,05$; 334 e 341 $\mu\text{mol.mol}^{-1}$, respetivamente) do que o dos dois tratamentos em conforto (R 0 e R 2.2; 186 e 200 $\mu\text{mol.mol}^{-1}$, respetivamente; Fig. 4.81).

Aos 97 DAS o tratamento R 1 (déficit hídrico em ambas as fases) apresentou um valor médio da concentração sub-estomática de CO₂ (254 $\mu\text{mol.mol}^{-1}$) maior do que a do tratamento R 2.1 (déficit restrito à fase vegetativa; 184 $\mu\text{mol.mol}^{-1}$).

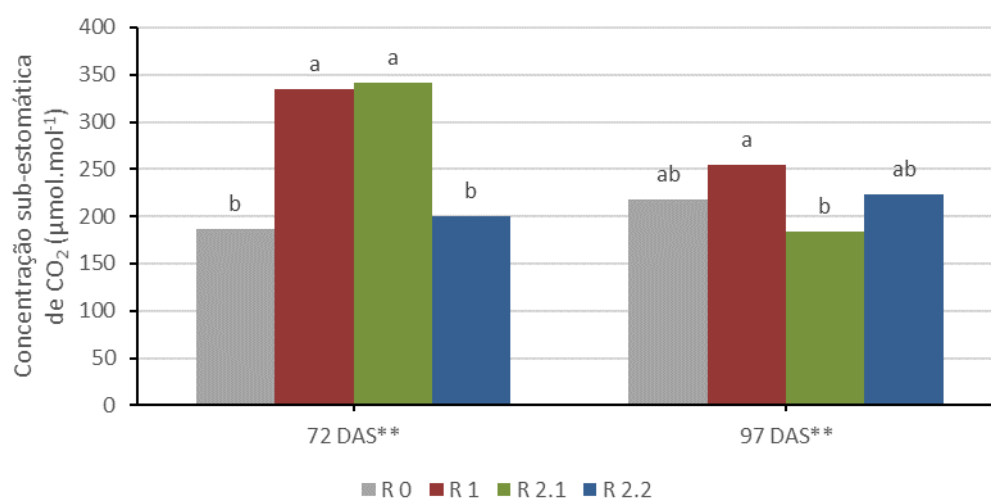


Figura 4.81. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da concentração sub-estomática de CO₂.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após sementeira e as variedades

Na variedade V 1 (Fig. 4.82) não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos aos 72 DAS. Aos 97 DAS as plantas do tratamento R 2.1 (déficit hídrico restrito à fase vegetativa) apresentaram um valor médio da concentração sub-estomática de CO_2 menor do que a dos restantes tratamentos.

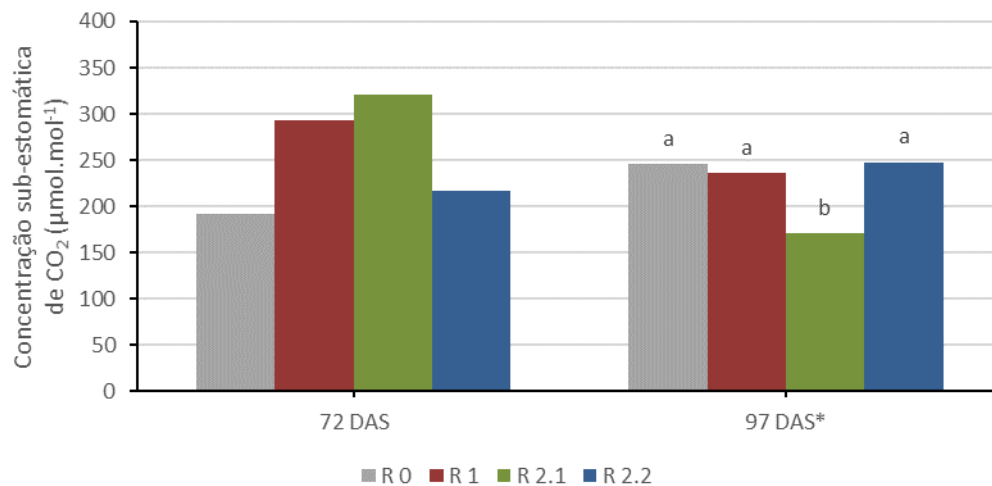


Figura 4.82. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 1 no valor médio da concentração sub-estomática de CO_2 . Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). * indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

Na variedade V 2 (Fig. 4.83) não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos aos 97 DAS. Aos 72 DAS, os tratamentos sob déficit hídrico (R 1 e R 2.1) apresentaram um valor médio da concentração sub-estomática de CO_2 maior do que o dos tratamentos em conforto hídrico (R 0 e R 2.2).

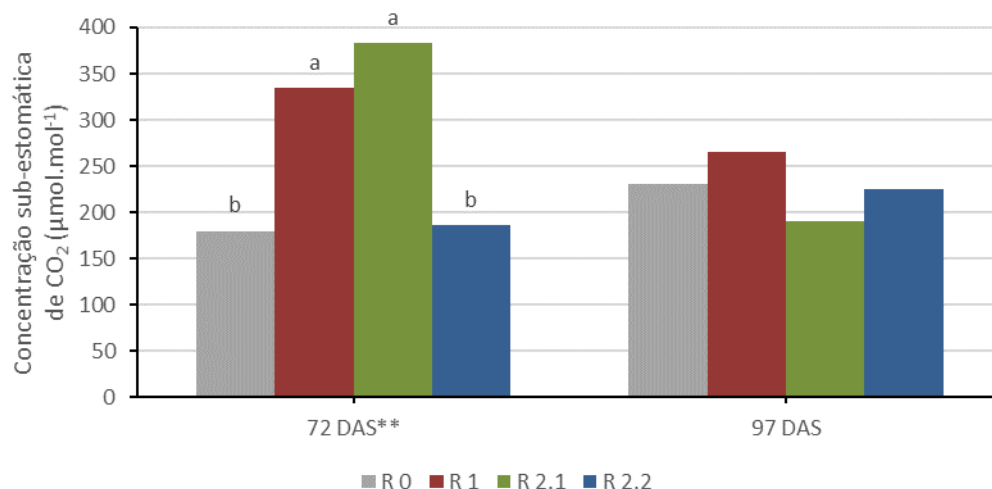


Figura 4.83. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 2 no valor médio da concentração sub-estomática de CO_2 . Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Na variedade V 3 (Fig. 4.84) não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos aos 97 DAS. Aos 72 DAS a distribuição de tratamentos era semelhante à da variedade V 2 (Fig. 4.83).

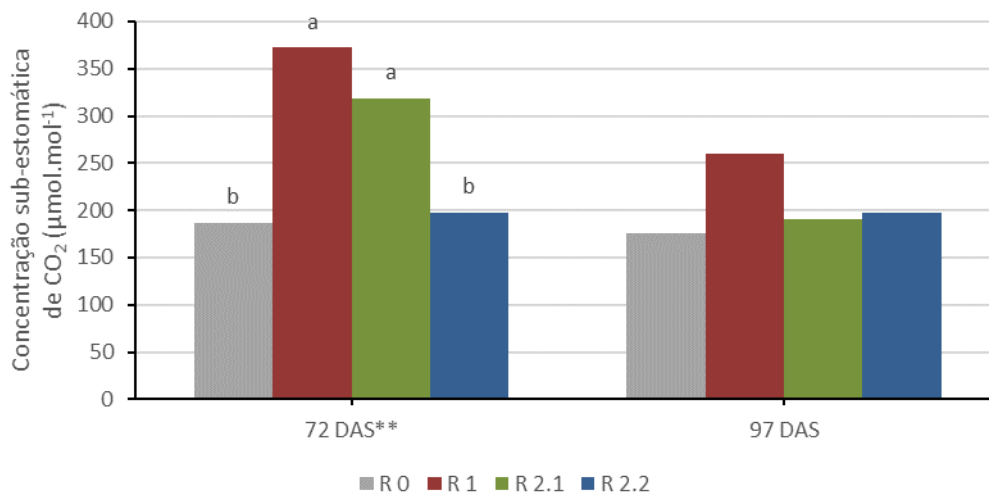


Figura 4.84. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (72 e 97 DAS) para a variedade V 3 no valor médio da concentração sub-estomática de CO_2 .

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após semeadura

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre variedades em nenhum dos dois dias apresentados (Fig. 4.85).

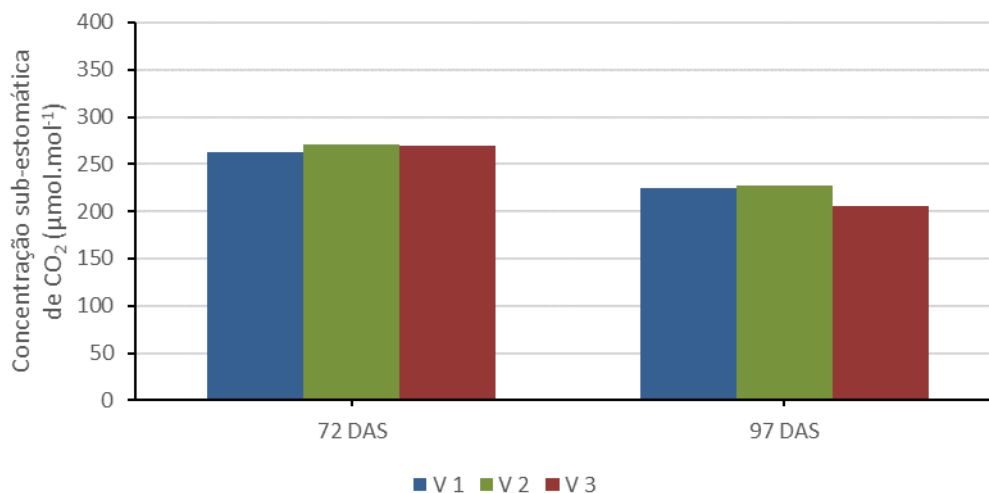


Figura 4.85. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (72 e 97 DAS) no valor médio da concentração sub-estomática de CO_2 .

4.2.5. Teor de clorofila

O coeficiente de determinação elevado ($R^2=0,95$) e o coeficiente de variação moderado ($CV=23\%$) indicam a qualidade das medições e a relevância das variáveis explicativas definidas.

Encontraram-se diferenças estatisticamente significativas nas seguintes variáveis independentes e respetivas interações:

- Dias após sementeira ($p<0,01$);
- Variedade ($p<0,01$);
- Tratamento ($p<0,01$);
- Tratamento x Variedade ($p<0,01$);
- Tratamento x Dias após sementeira ($p<0,01$);
- Variedade x Dias após sementeira ($p<0,01$);
- Planta x Variedade ($p<0,01$);
- Planta x Tratamento x Variedade ($p<0,05$).

Evolução

O valor médio do teor de clorofila seguiu uma tendência decrescente ao longo das medições efetuadas devido à senescência das plantas (Fig. 4.86).

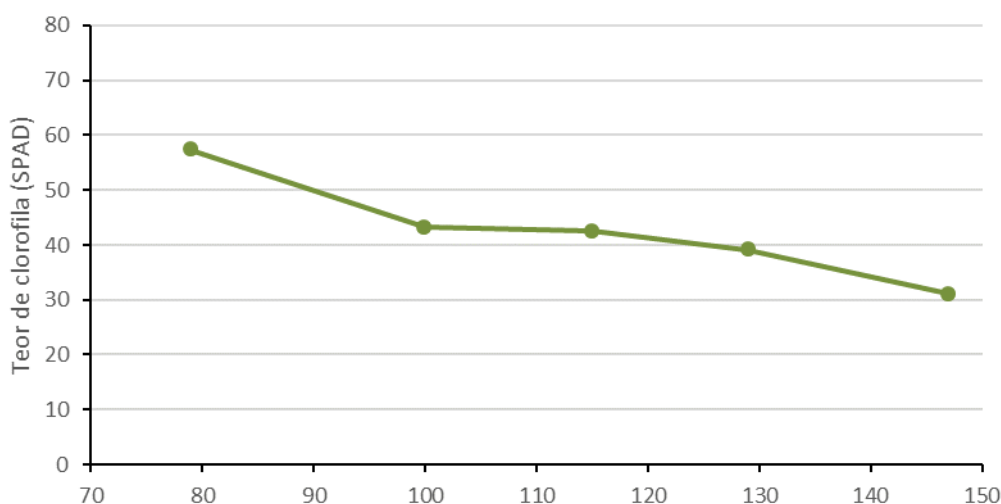


Figura 4.86. Evolução do valor médio do teor de clorofila ao longo das medições.

Variedades

O valor médio do teor de clorofila da variedade V 3 foi maior ($p < 0,05$; 50,5) do que o das variedades V 1 e V 2 (39,4 e 39,9, respetivamente; Fig. 4.87).

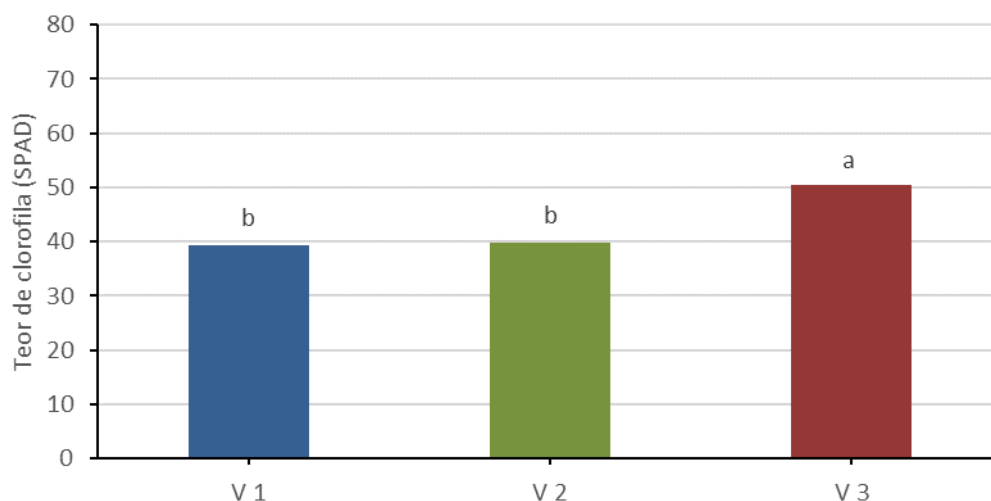


Figura 4.87. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do teor de clorofila.

Tratamentos

As plantas que estiveram em déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa (R 2.1) e em ambas as fases de desenvolvimento (R 1) apresentaram um valor médio do teor de clorofila maior ($p < 0,05$; 47,7 e 46,5, respetivamente; Fig. 4.88).

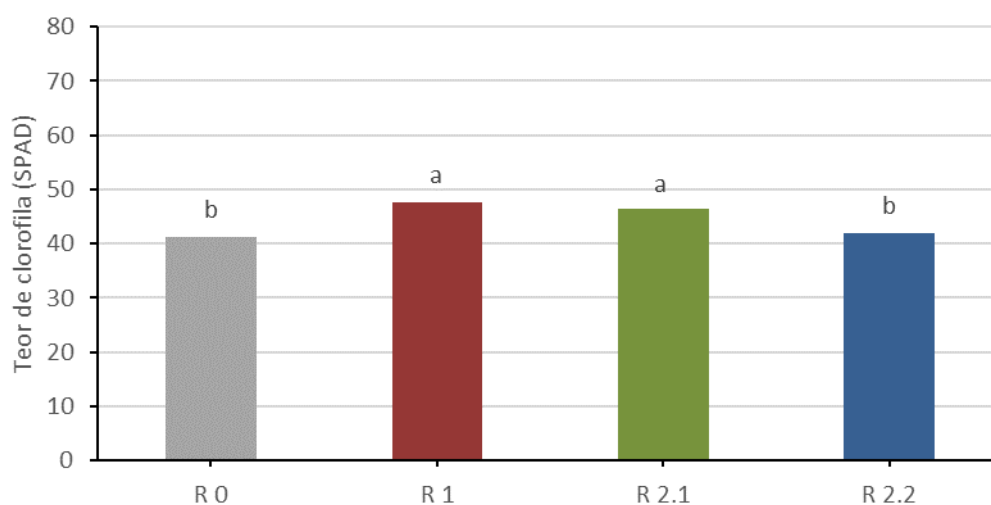


Figura 4.88. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do teor de clorofila. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) nas plantas desta variedade.

Na variedade V 1 (Fig. 4.89) o valor médio do teor de clorofila das plantas do tratamento R 2.2 (33,5) foi menor ($p < 0,05$) relativamente ao grupo controlo (R 0; 37,8) e ao tratamento R 2.1 (42,6).

Na variedade V 2 o valor médio do teor de clorofila foi maior ($p < 0,05$) nas plantas sujeitas a déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa (R 2.1; 44,2) relativamente ao grupo controlo (R 0; 36,0).

Na variedade V 3, o valor médio do teor de clorofila foi maior ($p < 0,05$) nas plantas que estiveram sob déficit hídrico (R 1 e R 2.1; 59,4 e 51,2, respetivamente).

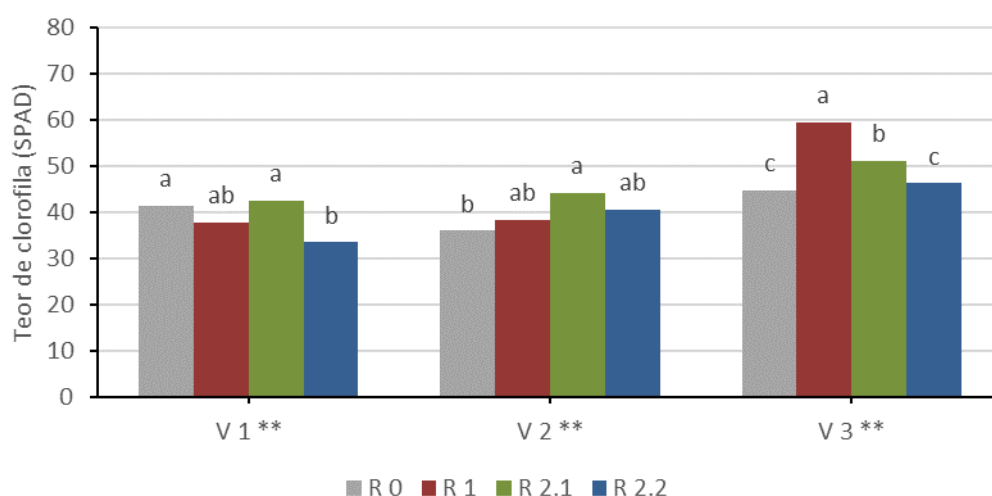


Figura 4.89. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do teor de clorofila.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos e os dias após sementeira

Embora a análise estatística tenha contemplado todas as medições mostram-se apenas duas: 79 e 100 DAS. A primeira foi selecionada porque se situou perto da alteração das condições de conforto/déficit hídrico dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 (ocorrida aos 73 DAS). Desde a introdução dos tratamentos até à troca das condições hídricas dos tratamentos R 2.1 e R 2.2 passaram 17 dias. Por isso decidiu-se apresentar uma segunda medição realizada após o intervalo de tempo que mais se aproximasse (100 DAS).

Assim, nas variedades V 1 e V 2, o tratamento R 2.1 esteve em condições hídricas semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) até aos 73 DAS e em condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) a partir dos 73 DAS. Sucedeu o inverso com o tratamento R 2.2.

Na variedade V 3, a alteração das condições hídricas nos tratamentos R 2.1 e R 2.2 não ocorreu, devido ao atraso no desenvolvimento das plantas dessa variedade.

Aos 79 DAS o valor médio do teor de clorofila dos tratamentos R 0 e R 1 era maior ($p < 0,05$; 61,4 e 58,2, respetivamente) do que o do tratamento R 2.2 (52,8), embora as condições hídricas deste fossem semelhantes às do R 0 (Fig. 4.90).

Aos 100 DAS, o valor médio do teor de clorofila do tratamento R 2.1 (52,6), que esteve em déficit hídrico durante a fase vegetativa e que neste dia estava em condições de conforto hídrico, era maior do que o dos restantes tratamentos ($p < 0,05$).

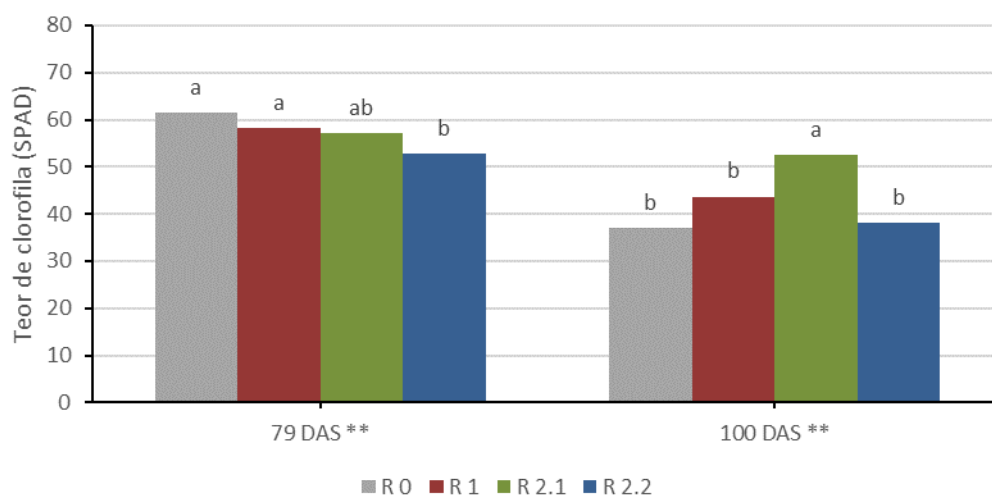


Figura 4.90. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (79 e 100 DAS) no valor médio do teor de clorofila.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre os tratamentos, os dias após sementeira e as variedades

Na variedade V1 (Fig. 4.91), aos 79 DAS os tratamentos R 1 e R 2.2 apresentaram um valor médio do teor de clorofila mais baixo ($p < 0,05$; 50,4 e 41,8, respetivamente) do que o controlo (R 0; 59,8). Aos 100 DAS, o valor médio do teor de clorofila do tratamento R 2.1 (50,6), que neste dia estava já em condições de conforto hídrico, foi maior ($p < 0,05$) do que o do tratamento R 2.2 (em défice hídrico; 24,2).

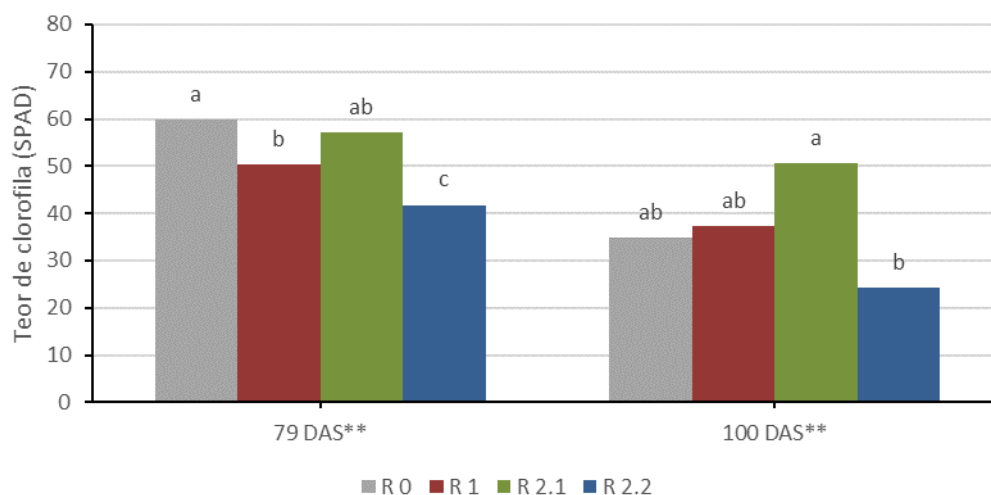


Figura 4.91. Interação entre os tratamentos de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (79 e 100 DAS) para a variedade V 1 no valor médio do teor de clorofila. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Na variedade V 2 (Fig. 4.92) só se encontraram diferenças estatisticamente significativas aos 100 DAS ($p < 0,05$). Nessa medição, o valor médio do teor de clorofila das plantas do tratamento R 2.1 (48,1) foi maior do que o dos restantes tratamentos.

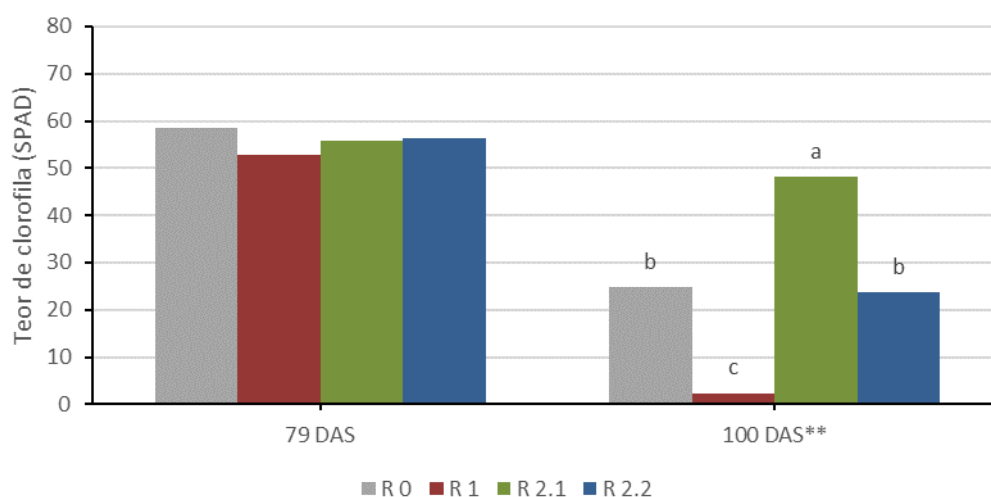


Figura 4.92. Interação entre os tratamentos de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (79 e 100 DAS) para a variedade V 2 no valor médio do teor de clorofila. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). ** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Na variedade V 3 (Fig. 4.93) só se encontraram diferenças estatisticamente significativas aos 100 DAS ($p < 0,05$). Nesse dia, o valor médio do teor de clorofila das plantas do tratamento R 1 (65,9) foi maior do que o do controlo (R 0; 51,6).

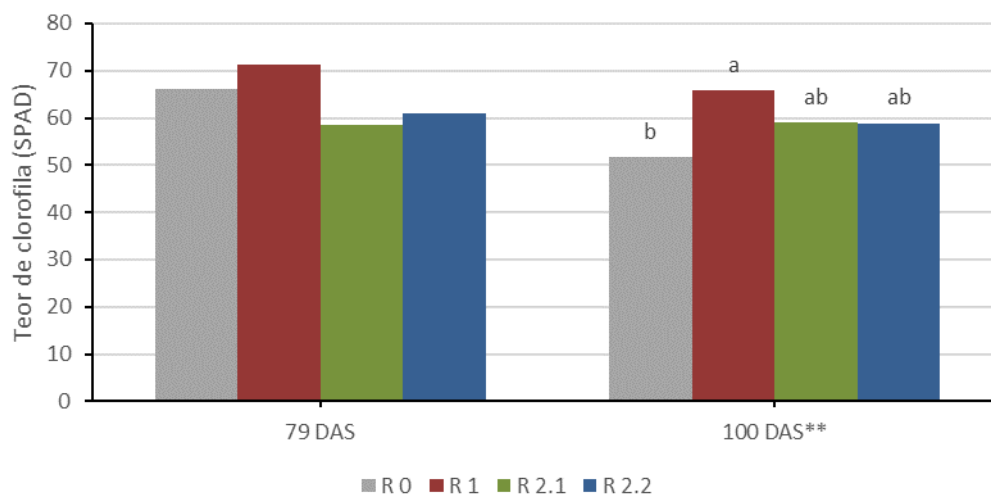


Figura 4.93. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e duas medições (79 e 100 DAS) para a variedade V 3 no valor médio do teor de clorofila.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

Interação entre as variedades e os dias após semeadura

Em ambas as medições, o valor médio do teor de clorofila da variedade V 3 foi maior ($p < 0,05$) do que o das variedades V 1 e V 2 (Fig. 4.94).

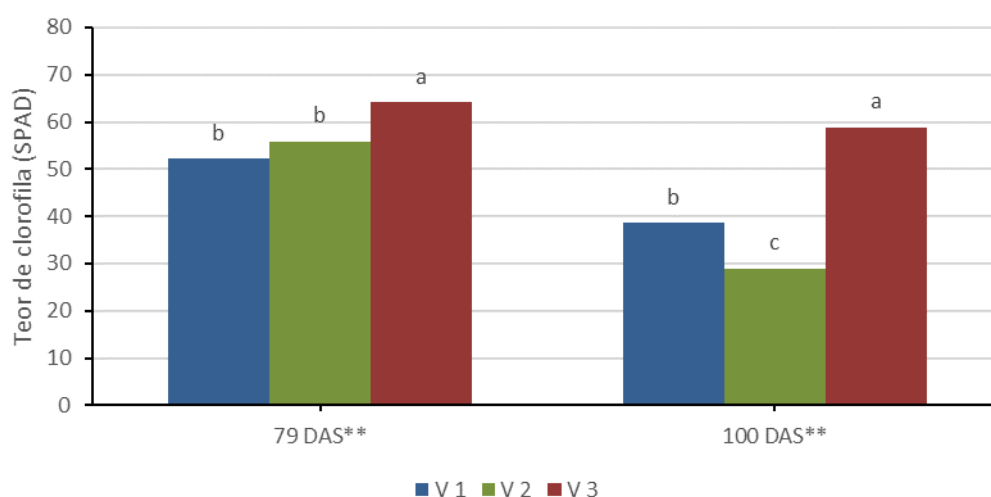


Figura 4.94. Interação entre as variedades (V 1, V 2 e V 3) e duas medições (79 e 100 DAS) no valor médio do teor de clorofila.

4.3. Produção

4.3.1. Biomassa total

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,95 e um coeficiente de variação (CV) de 23%, que constituem bons indicadores da qualidade dos dados e da importância das variáveis explicativas definidas para o modelo.

De todas as variáveis independentes incluídas, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento;
- Tratamento x Variedade.

Variedades

A variedade V 3 foi a que acumulou a maior biomassa ($p < 0,05$; 29,6 g). Seguiu-se a variedade V 1 (25,5 g) e, por último, a V 2 (21,2 g; Fig. 4.95).

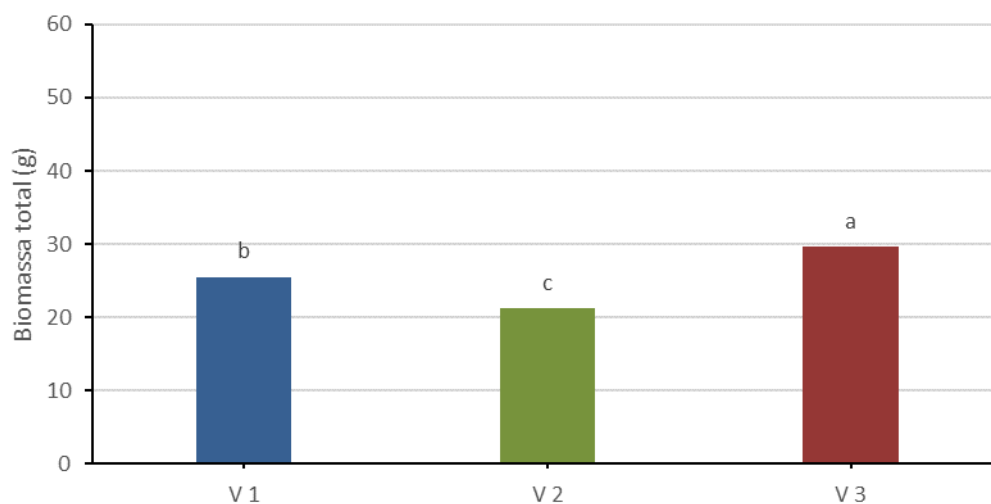


Figura 4.95. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da biomassa total. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

Os tratamentos de déficit hídrico (Fig. 4.96) apresentaram um valor médio da biomassa total menor ($p < 0,05$) do que a do controlo (R 0).

As plantas que estiveram sob déficit hídrico em ambas as fases (R 1) foram as que apresentaram menor biomassa total ($p < 0,05$; 7,4 g).

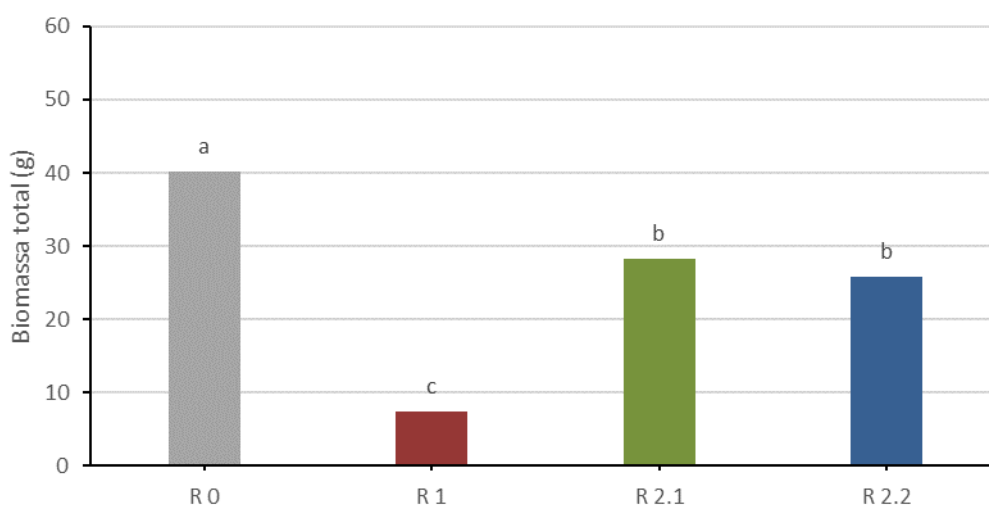


Figura 4.96. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da biomassa total. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) nas plantas desta variedade.

A análise do gráfico da Figura 4.97 não revela diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o valor médio da biomassa total das plantas que estiveram em condições de déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa (R 2.1) e o das plantas do grupo controlo (R 0), tanto na variedade V 1 como na V 2. Além disso, a biomassa total das plantas desses dois tratamentos foi maior ($p < 0,05$) do que a dos tratamentos R 1 e R 2.2 em ambas as variedades.

As plantas da variedade V 3 que estiveram em conforto hídrico (R 0 e R 2.2) apresentaram valores médios da biomassa total maiores do que as que estiveram sujeitas a déficit hídrico (R 1 e R 2.1).

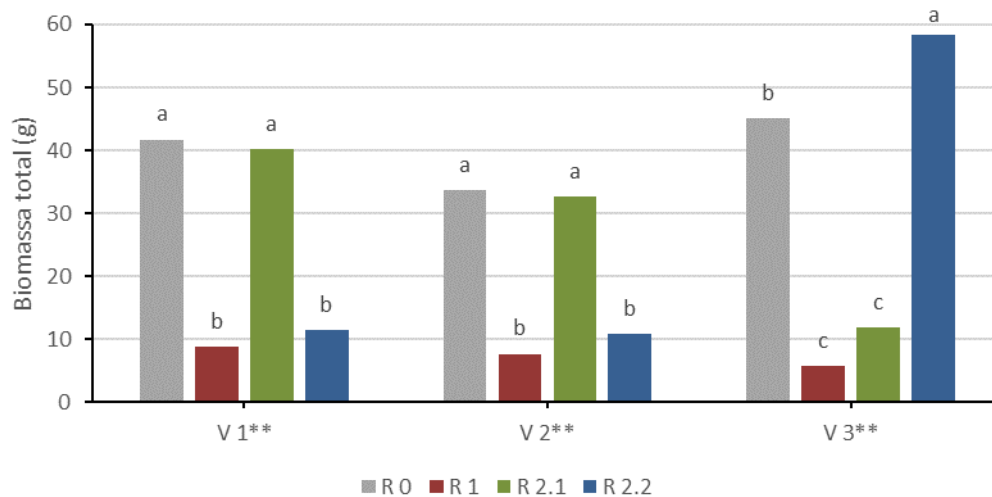


Figura 4.97. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da biomassa total.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.3.2. Razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea

O modelo testado teve um coeficiente de determinação alto ($R^2 = 0,82$). No entanto, o coeficiente de variação dos dados é também alto ($CV = 71\%$), o que poderá refletir diferenças entre as plantas das variedades analisadas, já que as condições do ensaio foram idênticas para todas as variáveis e o mesmo equipamento foi manuseado sempre pelo mesmo operador.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento;
- Tratamento x Variedade.

Variedades

Encontraram-se diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as três variedades em estudo relativamente ao valor médio da razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea (Fig. 4.98). O maior valor desta variável ($p < 0,05$) correspondeu à variedade V 3 (0,50). Seguiu-se a variedade V 1 (0,16) e, por último, a variedade V 2 (0,07).

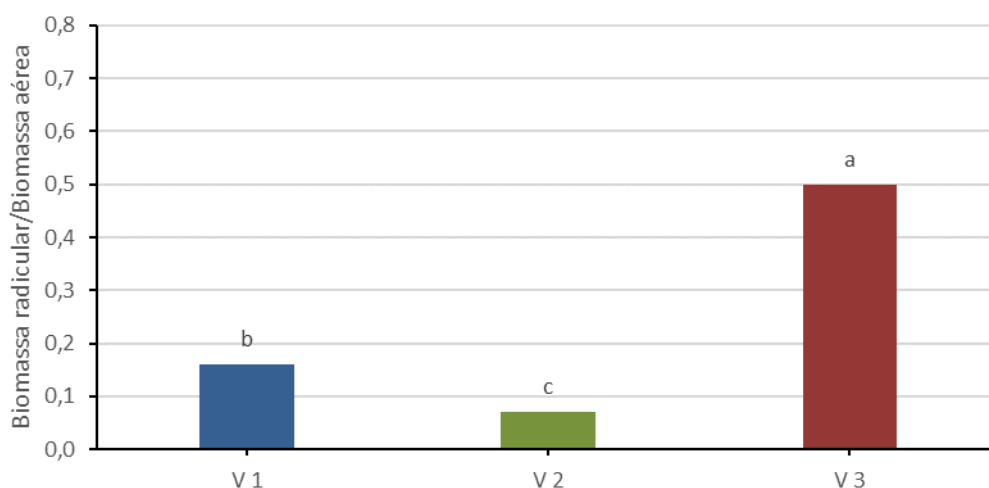


Figura 4.98. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O valor médio da razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea foi maior ($p < 0,05$) nas plantas sujeitas a défice hídrico apenas durante a fase reprodutiva (R 2.2; 0,31) do que nas plantas que estiveram sujeitas a esse défice durante as duas fases do desenvolvimento (R 1; 0,17), como pode ser observado na Figura 4.99.

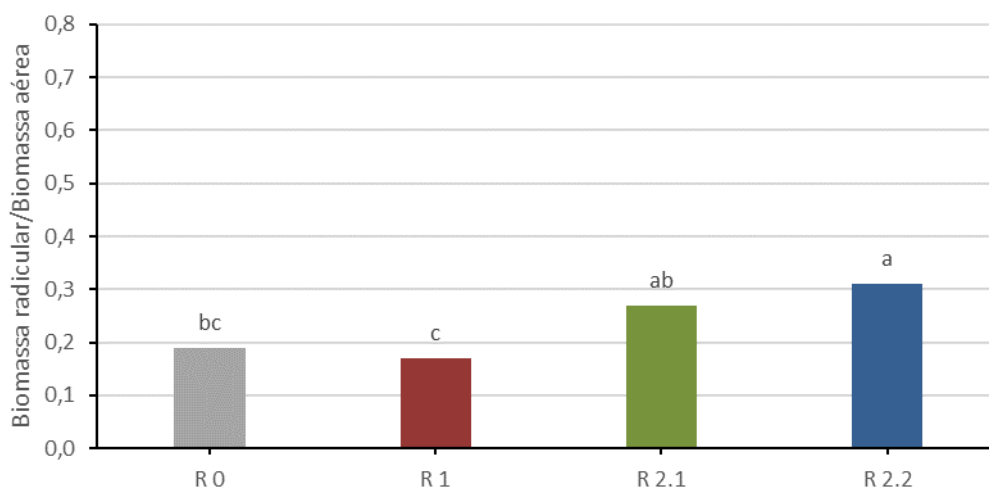


Figura 4.99. Efeito do tratamento de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Devido ao atraso no desenvolvimento da variedade V 3, o tratamento R 2.1 teve condições semelhantes às do tratamento R 1 (déficit hídrico) e o tratamento R 2.2 teve condições semelhantes às do tratamento R 0 (conforto hídrico) nas plantas desta variedade.

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os quatro tratamentos na variedade V 1 (Fig. 4.100).

Na variedade V 2, as plantas que estiveram sob déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa (R 2.1; 0,04) apresentaram uma razão menor ($p < 0,05$) do que as que estiveram sob déficit hídrico durante as duas fases (R 1; 0,09).

Os resultados da variedade V 3 não são claros, pois não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos R 2.1 e R 2.2 ($p < 0,05$; 0,66 e 0,74, respetivamente), nem entre os tratamentos R 0 e R 1 (0,40 e 0,21, respetivamente). Contudo, nesta variedade, as condições hídricas do tratamento R 2.1 foram idênticas às do tratamento R 1 e as do tratamento R 2.2 foram idênticas às do tratamento R 0.

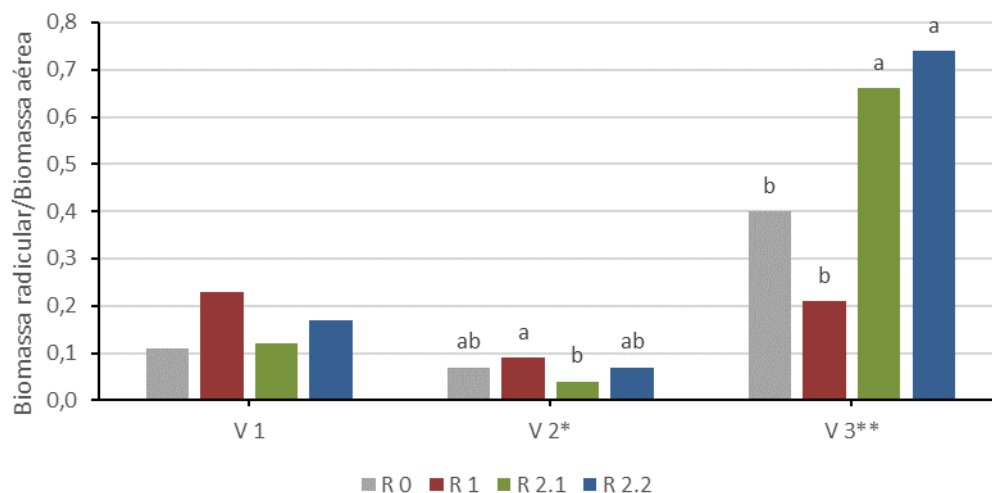


Figura 4.100. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da razão entre a biomassa radicular e a biomassa aérea.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.3.3. Número de sementes por planta

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,95 e um coeficiente de variação (CV) de 29%.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento.

Variedades

A variedade V 3 foi a que produziu o menor número médio de sementes por planta ($p < 0,05$; Fig. 4.101; 23,5 sementes). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o valor médio do número de sementes por planta da variedade V 1 (68,2 sementes) e o da variedade V 2 (58,4 sementes). O número de sementes por planta das variedades V 1 e V 2 foi maior ($p < 0,05$) do que o número de sementes por planta da variedade V 3 (23,5 sementes).

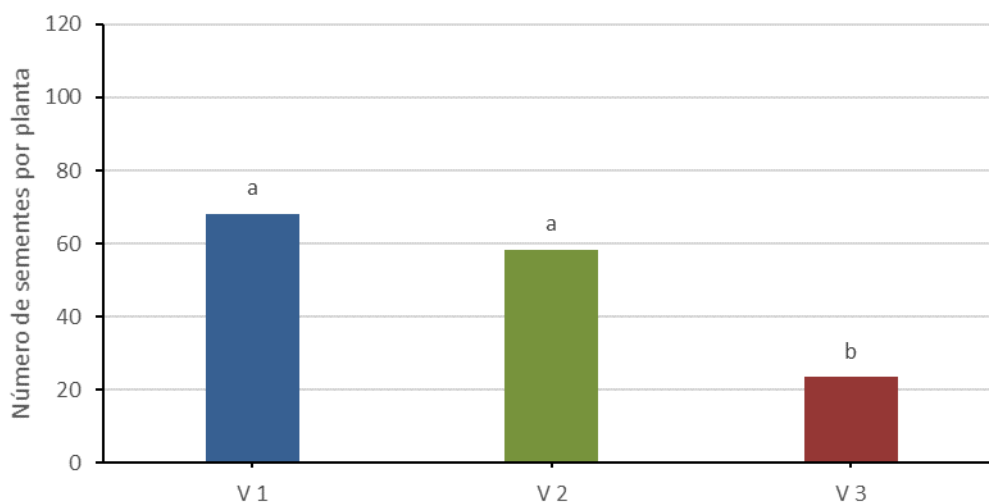


Figura 4.101. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de sementes por planta. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O maior número de sementes por planta ($p<0,05$) ocorreu no tratamento R 2.1 (défice hídrico restrito à fase vegetativa; 104,4 sementes; Fig. 4.102). Seguiram-se, por ordem decrescente, os tratamentos R 0 (controlo; 80,2 sementes), R 2.2 (défice hídrico restrito à fase reprodutiva; 33,8 sementes) e R 1 (défice hídrico em ambas as fases; 17,7 sementes).

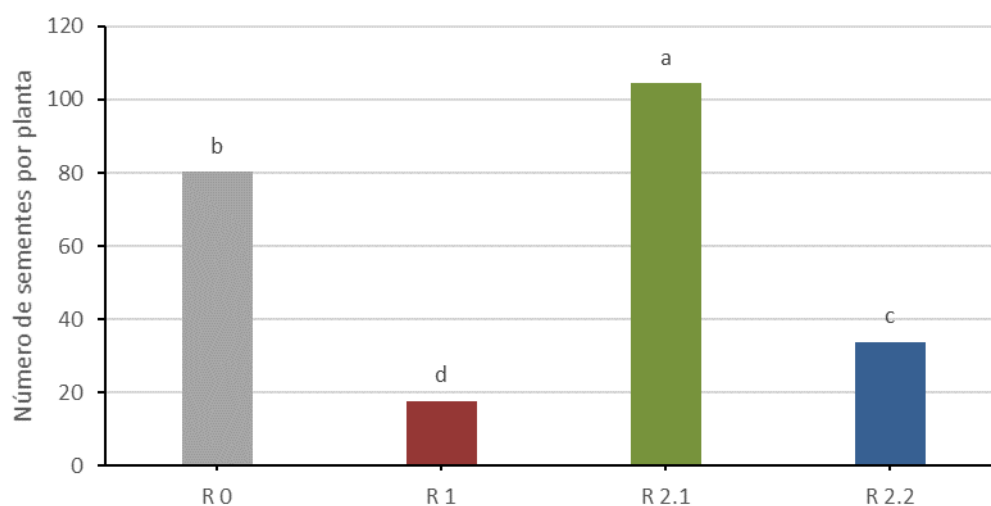


Figura 4.102. Efeito do tratamento de défice hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do número de sementes por planta. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Na variedade V 3, apenas as plantas do tratamento R 0 tiveram vagens na altura da colheita. Por isso optou-se por não apresentar no gráfico da Figura 4.103 o número de sementes por planta para essa variedade.

Nas variedades V 1 e V 2 não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) no número de sementes por planta entre os tratamentos R 0 (controlo) e R 2.1 (déficit hídrico restrito à fase vegetativa). Além disso, o número de sementes por planta desses dois tratamentos foi maior do que o dos tratamentos R 1 (déficit hídrico em ambas as fases) e R 2.2. (déficit hídrico restrito à fase reprodutiva).

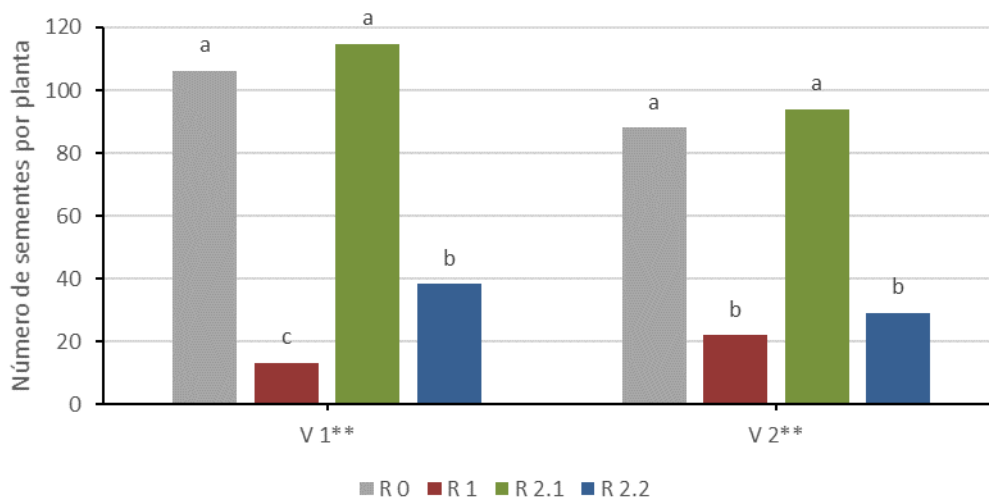


Figura 4.103. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de sementes por planta.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.3.4. Número de vagens por planta

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,93 e um coeficiente de variação (CV) de 34%.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas:

- Variedade ($p < 0,01$);
- Tratamento ($p < 0,01$);
- Tratamento x Variedade ($p < 0,05$).

Variedades

A variedade V 3 foi a que produziu o menor número médio de vagens por planta ($p < 0,05$; Fig. 4.104; 1,8 vagens). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o valor médio do número de vagens por planta da variedade V 1 (11,2 vagens) e o da variedade V 2 (10,6 vagens).

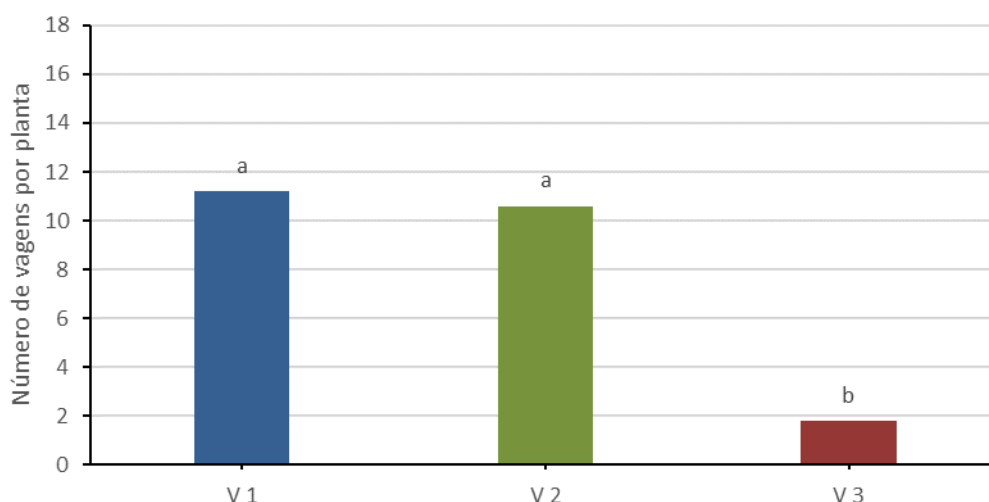


Figura 4.104. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de vagens por planta. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O menor número médio de vagens por planta ($p < 0,05$) ocorreu nos tratamentos R 1 (déficit hídrico durante ambas as fases de desenvolvimento; 4,4 vagens) e R 2.2 (déficit apenas durante a fase reprodutiva; 6,4 vagens; Fig. 4.105).

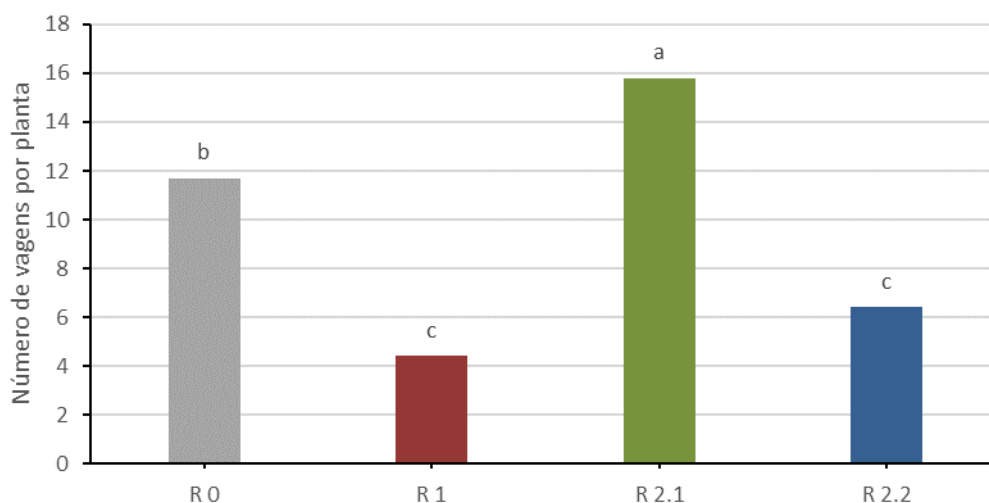


Figura 4.105. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do número de vagens por planta. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

À semelhança da Figura 4.105, a Figura 4.106 mostra que o déficit hídrico localizado na fase reprodutiva (R 2.2) e o déficit ocorrido em ambas as fases de desenvolvimento (R 1) estiveram associados a um menor ($p<0,05$) número médio de vagens por planta.

Na variedade V 3, apenas as plantas do tratamento R 0 tiveram vagens na altura da colheita. Por isso optou-se por não apresentar esses dados no gráfico da Figura 4.106.

Na variedade V 1 não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre o número médio de vagens produzidas pelas plantas que estiveram sob déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa ($p<0,05$; R 2.1; 17,7 vagens) e o controlo (R 0; 17,1 vagens). Além disso, o número médio de vagens produzidas pelas plantas desses dois tratamentos foi maior ($p<0,05$) do que o produzido pelas plantas dos tratamentos R 1 e R 2.2 (3,0 e 6,8, respetivamente).

Na variedade V 2 o número médio de vagens por planta do tratamento R 2.1 (14,0 vagens) foi menor ($p<0,05$) do que o do controlo (16,2 vagens). No entanto foi maior ($p<0,05$) do que o dos tratamentos R 1 (5,9 vagens) e R 2.2 (6,1 vagens).

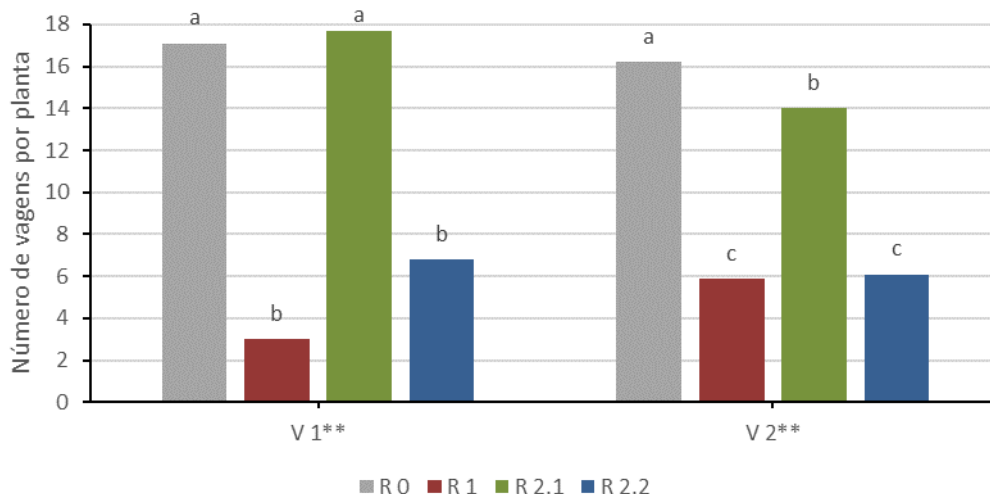


Figura 4.106. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de vagens por planta.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p<0,01$.

4.3.5. Número de sementes por vagem

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,77 e um coeficiente de variação (CV) de 31%.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas:

- Variedade ($p < 0,05$);
- Tratamento ($p < 0,01$).

Variedades

A variedade V 3 foi a que apresentou o maior número médio de sementes por vagem (Fig. 4.107; $p < 0,05$; 8,0 sementes). Seguiram-se as variedades V1 e V 2, sem diferenças estatisticamente significativas entre si (5,9 e 5,2 sementes, respetivamente).

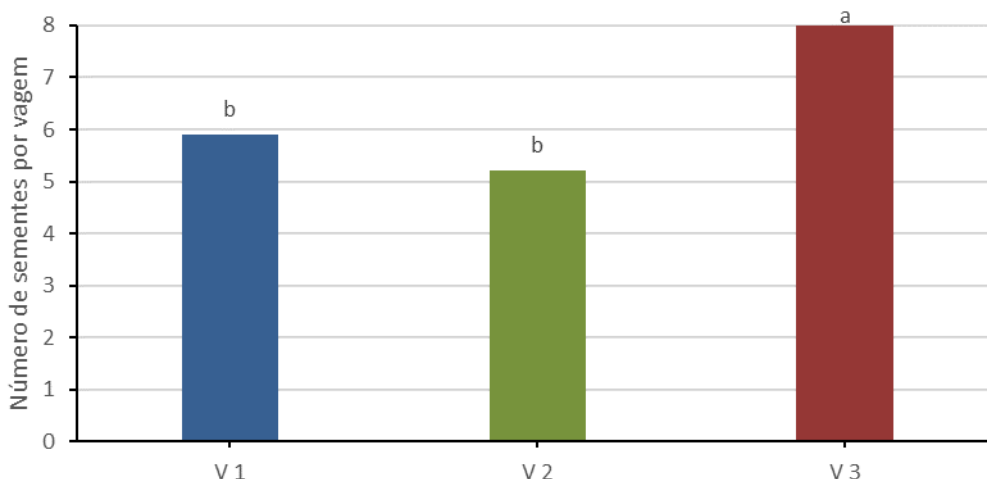


Figura 4.107. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de sementes por vagem. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O número médio de sementes por vagem foi maior ($p < 0,05$) nas plantas em que o déficit hídrico se localizou apenas na fase vegetativa (R 2.1; 6,7 sementes) relativamente às aquelas em que o déficit ocorreu apenas na fase reprodutiva (R 2.2; 5,5 sementes) e às aquelas em que o déficit se estendeu pelas duas fases (R 1; 4,1 sementes; Fig. 4.108).

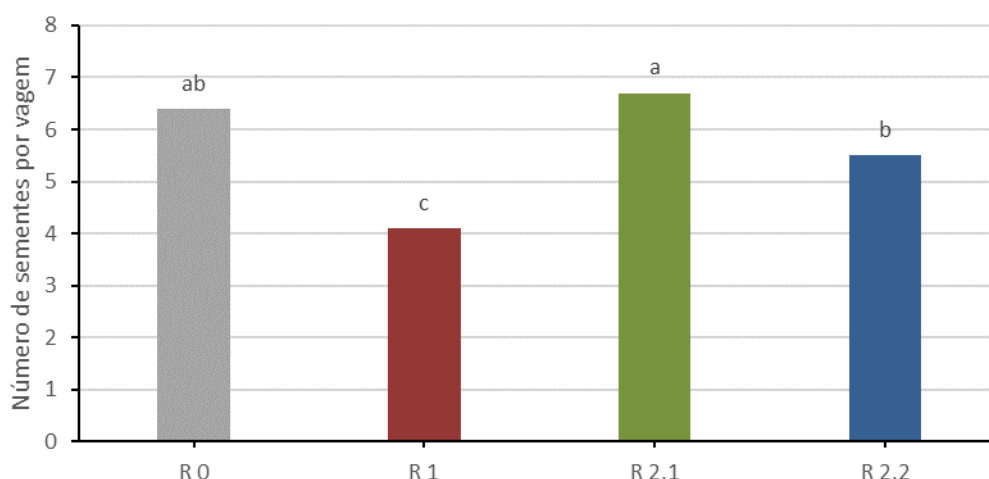


Figura 4.108. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do número de sementes por vagem. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Na variedade V 1, o menor número médio de sementes por vagem esteve associado ao déficit hídrico ocorrido em ambas as fases (R 1; 4,3 sementes; $p < 0,05$; Fig. 4.109). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os restantes três tratamentos.

Na variedade V 2, número médio de sementes por vagem do tratamento R 2.1 (déficit restrito à fase vegetativa; 6,8 sementes) foi maior do que o dos restantes tratamentos.

Na variedade V 3, apenas o tratamento R 0 teve vagens na altura da colheita. Por isso optou-se por não representar o número de sementes por vagem no gráfico da Figura 4.109 para essa variedade.

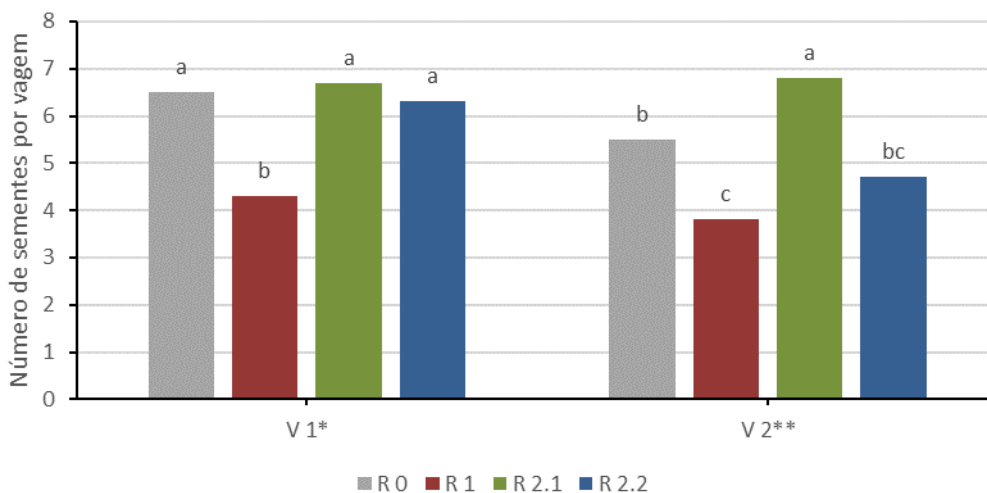


Figura 4.109. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do número de sementes por vagem.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.3.6. Peso de mil sementes

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,85 e um coeficiente de variação (CV) de 22% que refletem a qualidade dos dados e a adequabilidade das variáveis explicativas escolhidas para o modelo definido.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento;

Variedades

O valor médio do peso de mil sementes foi maior ($p < 0,05$) nas variedades V 1 e V 2 (173 g e 201 g, respetivamente) relativamente à variedade V 3 (59 g; Fig. 4.110).

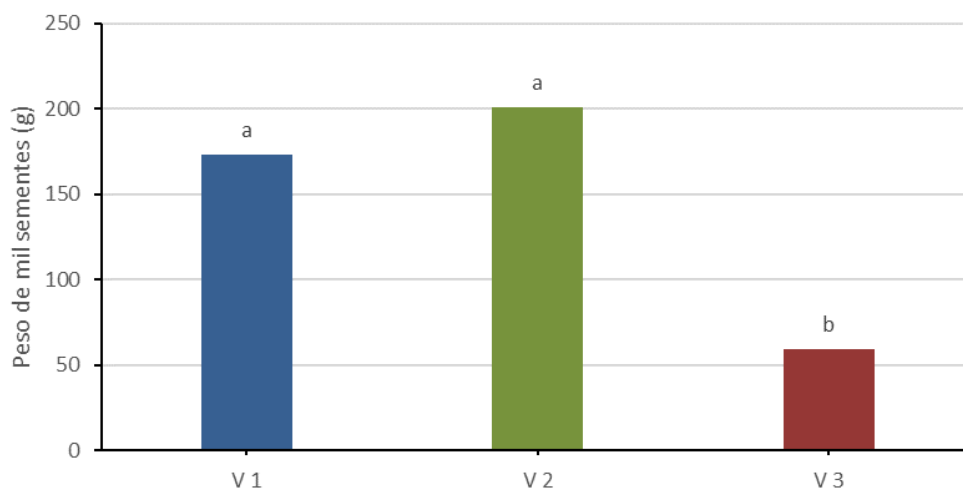


Figura 4.110. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso de mil sementes. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O déficit hídrico ocorrido em ambas as fases (R 1; 211 g) esteve associado ao maior valor médio do peso de mil sementes ($p < 0,05$; Fig. 4.111).

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) no valor médio do peso de mil sementes nas plantas do tratamento R 2.1 (déficit hídrico restrito na fase vegetativa; 184 g) e o das plantas do tratamento R 2.2 (déficit hídrico restrito na fase reprodutiva; 173 g), nem entre este tratamento (R 2.2) e o controlo (R 0; 153 g).

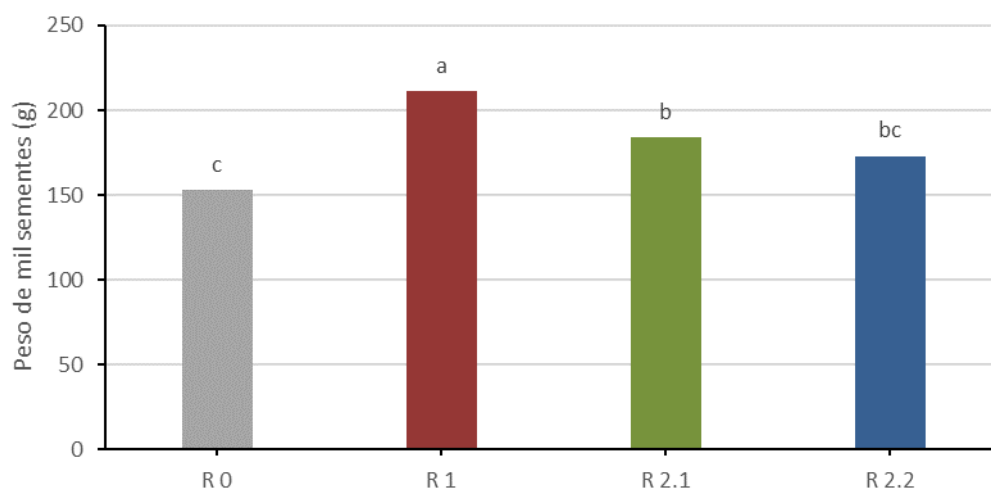


Figura 4.111. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do peso de mil sementes. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Apenas se encontraram diferenças estatisticamente significativas para o peso de mil sementes na variedade V 1 (Fig. 4.112).

O maior valor desta variável ($p < 0,05$) esteve associado ao tratamento no qual o déficit hídrico abrangeu as duas fases de desenvolvimento das plantas (R 1; 222 g). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os restantes tratamentos.

Na variedade V 3, apenas as plantas do tratamento controlo (R 0) tiveram vagens na altura da colheita. Por isso, optou-se por não representar o peso de mil sementes para essa variedade no gráfico da Figura 4.112.

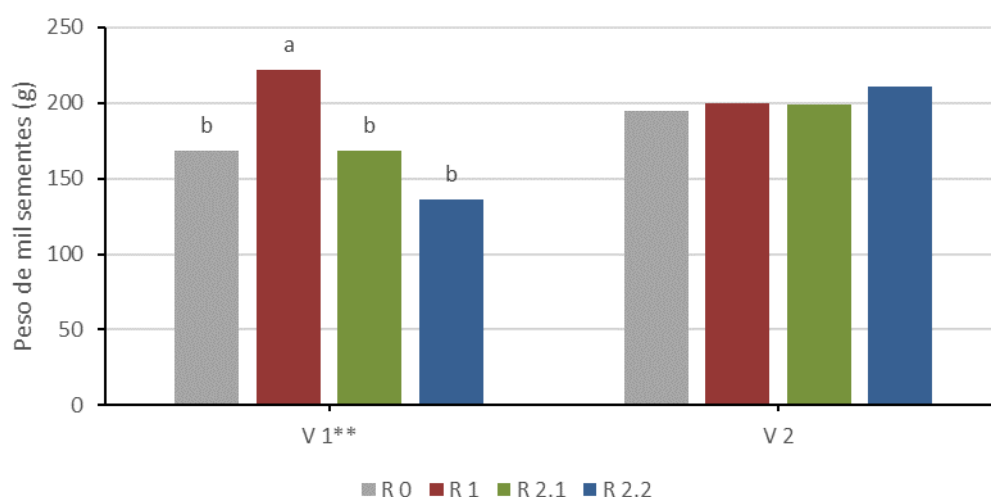


Figura 4.112. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso de mil sementes.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.3.7. Peso das sementes por planta

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,96 e um coeficiente de variação (CV) de 26%.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento.

Variedades

As variedades V 1 e V 2 apresentaram um peso médio de sementes maior ($p < 0,05$; 11,1 g e 11,3 g, respetivamente) do que a variedade V 3 (1,4 g; Fig. 4.113).

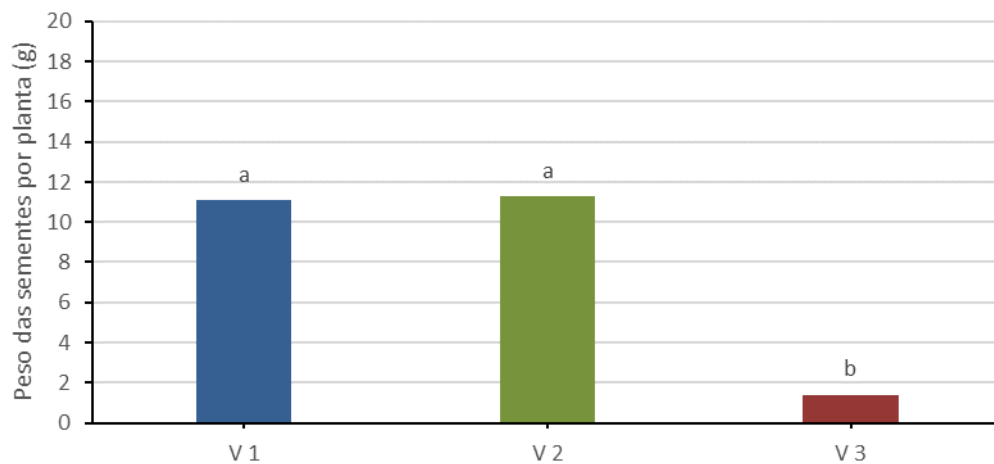


Figura 4.113. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso das sementes por planta. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Não se observaram diferenças estatisticamente significativas entre o peso das sementes por planta previsto com base nas componentes de rendimento e o medido através de pesagem (Tabela 4.1). O peso das sementes por planta das variedades V 1 e V 2 é semelhante entre si e maior do que o da variedade V 3 pois apesar desta variedade ter produzido mais sementes por vagem, produziu menos vagens por planta e sementes com menor peso.

Tabela 4.1. Comparação entre o peso das sementes por planta previsto a partir das componentes de rendimento (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de mil sementes) e o medido, para as três variedades avaliadas (V 1, V 2 e V 3).

	Número de vagens por planta	Número de sementes por vagem	Peso de mil sementes (g)	Peso das sementes por planta previsto (g)	Peso das sementes por planta medido (g)
V 1	11 a	6 b	173 a	11	11 a
V 2	11 a	5 b	201 a	11	11 a
V 3	2 b	8 a	59 b	1	1 b

Tratamentos

O peso médio das sementes produzidas por planta foi menor ($p<0,05$) no tratamento em que o déficit hídrico abrangeu ambas as fases do desenvolvimento (R 1; 3,3 g) e no tratamento em que o déficit hídrico esteve localizado na fase reprodutiva (R 2.2; 5,3 g; Fig. 4.114).

O maior valor médio ocorreu no tratamento R 2.1 (déficit hídrico restrito à fase vegetativa; 18,7 g).

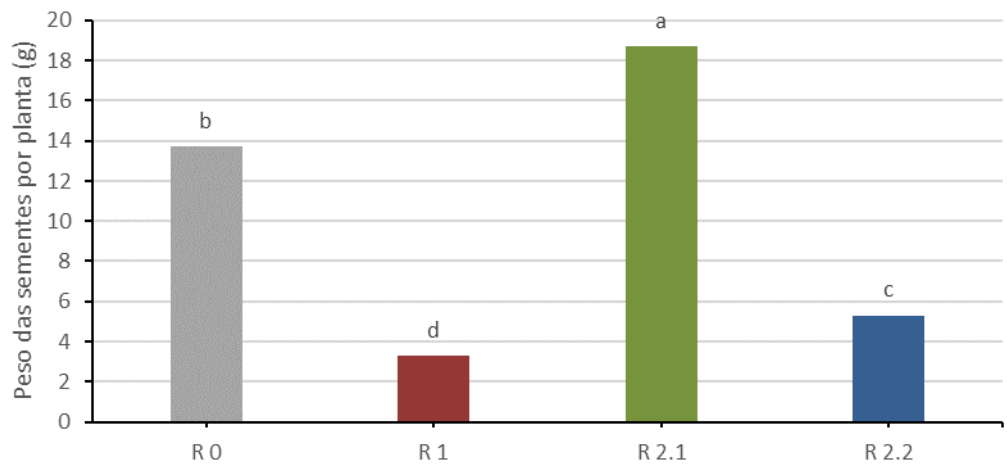


Figura 4.114. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do peso das sementes por planta.
Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$).

As diferenças observadas entre o peso das sementes por planta previsto com base nas componentes de rendimento e o medido através de pesagem foram pequenas (Tabela 4.2). O peso das sementes por planta nos tratamentos R 0 (controlo) e R 2.1 foi maior do que nos restantes tratamentos devido, principalmente, ao maior número de vagens produzidas por planta.

Tabela 4.2. Comparação entre o peso das sementes por planta previsto a partir das componentes de rendimento (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de mil sementes) e o medido para os quatro tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2).

	Número de vagens por planta	Número de sementes por vagem	Peso de mil sementes (g)	Peso das sementes por planta previsto (g)	Peso das sementes por planta medido (g)
R 0	12 b	6 ab	153 c	11	14 b
R 1	4 c	4 c	211 a	3	3 d
R 2.1	16 a	7 a	184 b	21	19 a
R 2.2	6 c	6 b	173 bc	6	5 c

Interação entre os tratamentos e as variedades

A relação entre tratamentos é a mesma nas variedades V 1 e V 2 (Fig. 4.115).

Na variedade V 3, apenas o tratamento R 0 teve vagens na altura da colheita. Por isso, optou-se por não representar o peso das sementes por planta para esta variedade no gráfico da Figura 4.115 e na Tabela 4.3.

O déficit hídrico ocorrido em ambas as fases do desenvolvimento (R 1) e o déficit hídrico restrito à fase reprodutiva (R 2.2) estiveram associados a um peso médio das sementes por planta mais baixo ($p < 0,05$).

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o peso médio das sementes produzidas pelas plantas que estiveram sob déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa (R 2.1) e o das plantas do grupo controlo (R 0).

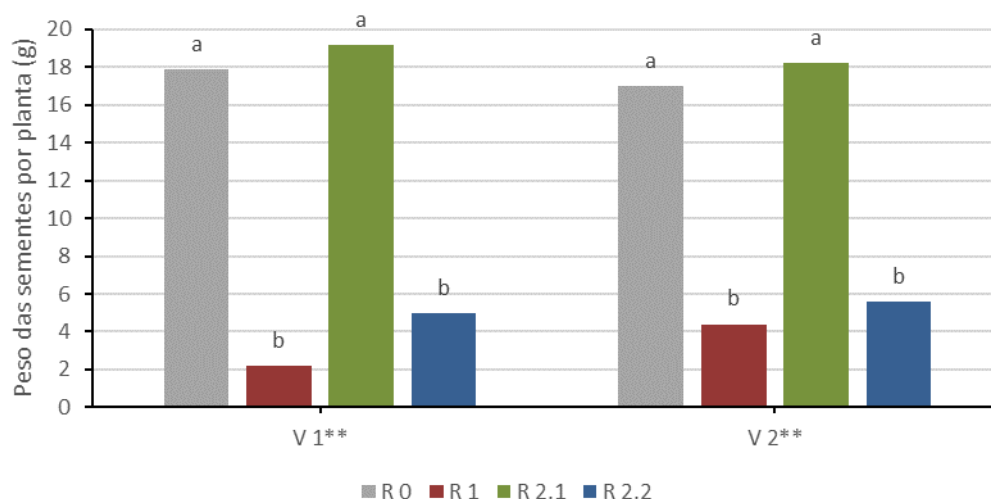


Figura 4.115. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso das sementes por planta.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

À semelhança do que foi observado na análise global dos quatro tratamentos, as diferenças observadas entre o peso de sementes por planta previsto com base nas componentes de rendimento e o medido através de pesagem foram pequenas (Tabela 4.3). Tanto na variedade V 1 como na V 2, o peso das sementes por planta nos tratamentos R 0 (controlo) e R 2.1 foi maior do que nos restantes tratamentos devido, principalmente, ao maior número de vagens produzidas por planta.

Tabela 4.3. Comparação entre o peso das sementes por planta previsto a partir das componentes de rendimento (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de mil sementes) e o medido para os quatro tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2, para as variedades V 1 e V 2).

		Número de vagens por planta	Número de sementes por vagem	Peso de mil sementes (g)	Peso das sementes por planta previsto (g)	Peso das sementes por planta medido (g)
V 1	R 0	17 a	7 a	168 b	20	18 a
	R 1	3 b	4 b	222 a	3	2 b
	R 2.1	18 a	7 a	168 b	21	19 a
	R 2.2	7 b	6 a	136 b	6	5 b
V 2	R 0	16 a	6 b	195	19	17 a
	R 1	6 c	4 c	200	5	4 b
	R 2.1	14 b	7 a	199	20	18 a
	R 2.2	6 c	5 bc	211	6	6 b

4.3.8. Peso das vagens por planta

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,97 e um coeficiente de variação (CV) de 24%.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento.

Variedades

As variedades V 1 e V 2 apresentaram um peso médio das vagens maior ($p < 0,05$; 14,2 g e 14,5 g, respetivamente) do que a variedade V 3 (2,3 g; Fig. 4.116).

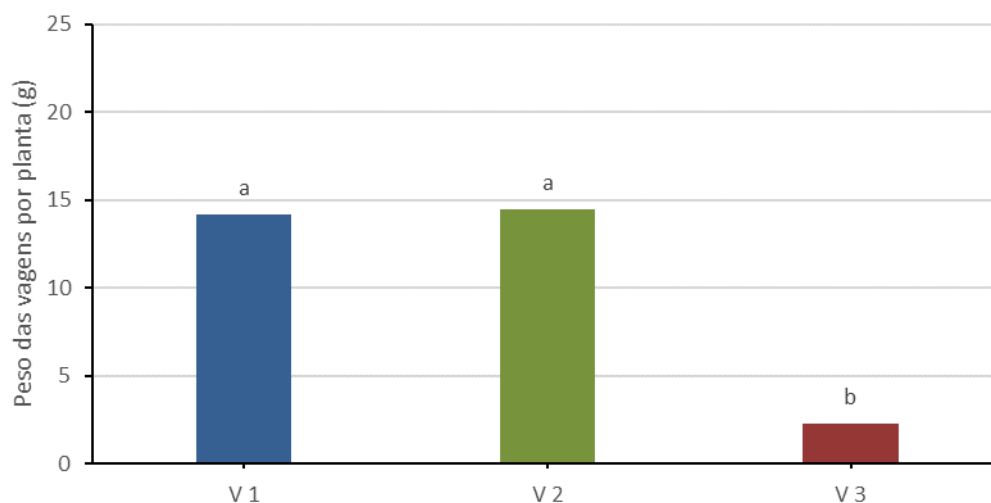


Figura 4.116. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso das vagens por planta. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O peso médio das vagens produzidas foi maior ($p < 0,05$) no tratamento R 2.1 (déficit hídrico restrito à fase vegetativa; 24,0 g; Fig. 4.117). Seguiram-se, por ordem decrescente, os tratamentos R 0 (controlo; 18,1 g), R 2.2 (déficit hídrico restrito à fase reprodutiva; 6,5 g) e R 1 (déficit hídrico em ambas as fases; 4,1 g).

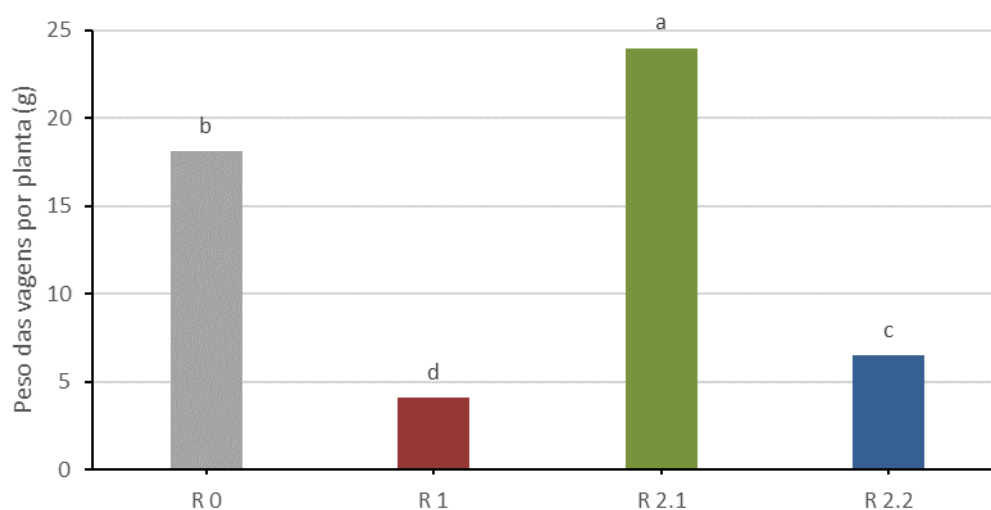


Figura 4.117. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do peso das vagens por planta. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

De acordo com a Figura 4.118, a relação entre tratamentos é a mesma para as variedades V 1 e V 2.

Na variedade V 3, apenas o tratamento R 0 teve vagens na altura da colheita. Por isso, optou-se por não representar no gráfico da Figura 4.118 o peso das vagens por planta para essa variedade.

Nas variedades V 1 e V 2 não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) no peso das vagens por planta entre os tratamentos R 0 (controle) e R 2.1 (déficit hídrico restrito à fase vegetativa). Além disso, o peso das vagens por planta desses dois tratamentos foi maior do que o dos tratamentos R 1 (déficit hídrico em ambas as fases) e R 2.2. (déficit hídrico restrito à fase reprodutiva).

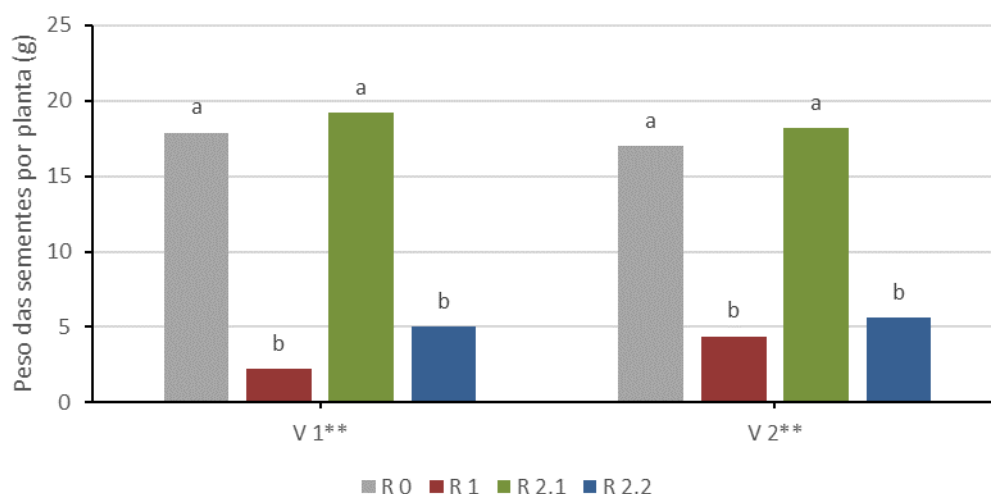


Figura 4.118. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do peso das vagens por planta.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.3.9. Eficiência no uso da água (produção de sementes)

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,84 e um coeficiente de variação (CV) de 35%.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento.

Variedades

A variedade V 3 apresentou uma eficiência no uso da água média menor ($p < 0,05$; 0,05 g/l) do que as variedades V 1 e V 2 (1,24 e 1,42 g/l, respetivamente; Fig. 4.119).

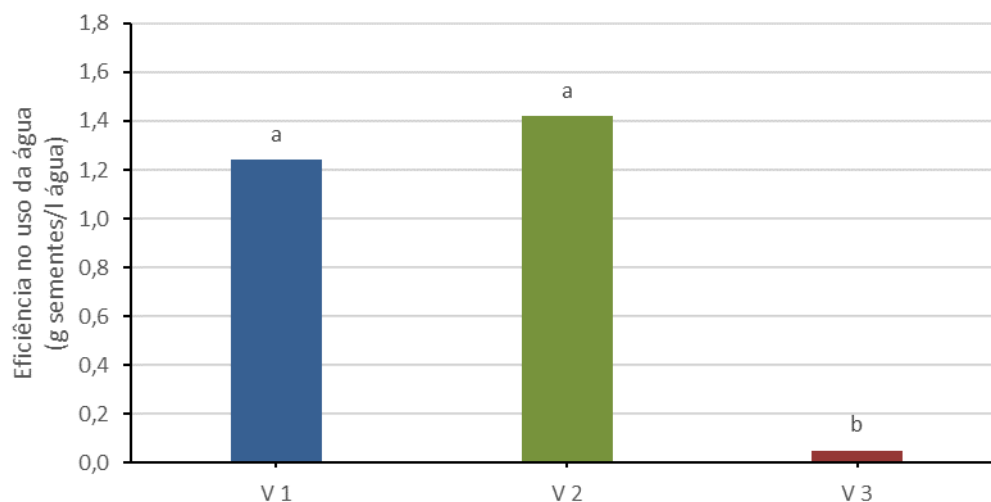


Figura 4.119. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da eficiência no uso da água expresso em gramas de semente por litro de água utilizada. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O déficit hídrico restrito à fase vegetativa (R 2.1) esteve associado ao maior valor da eficiência no uso da água ($p < 0,05$; 1,61 g/l; Fig. 4.120).

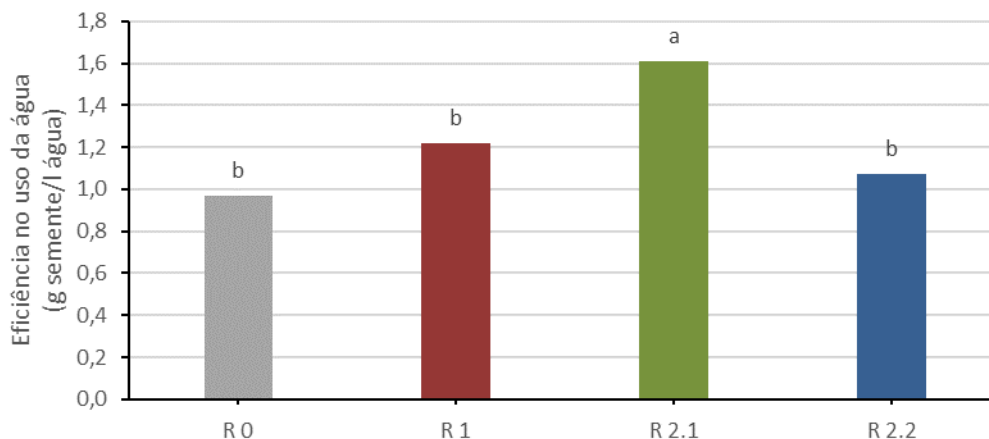


Figura 4.120. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da eficiência no uso da água expresso em gramas de semente por litro de água utilizada. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Nas variedades V 1 e V 2 (Fig. 4.121), o valor médio da eficiência no uso da água foi menor ($p < 0,05$) nas plantas sujeitas a déficit hídrico durante ambas as fases de desenvolvimento (R 1) e apenas durante a fase reprodutiva (R 2.2), relativamente às plantas que apenas estiveram sob déficit hídrico durante a fase vegetativa (R 2.1).

Como na variedade V 3 apenas as plantas do tratamento R 0 tiveram vagens na altura da colheita, optou-se por não representar a eficiência no uso da água no gráfico da Figura 4.121 para essa variedade.

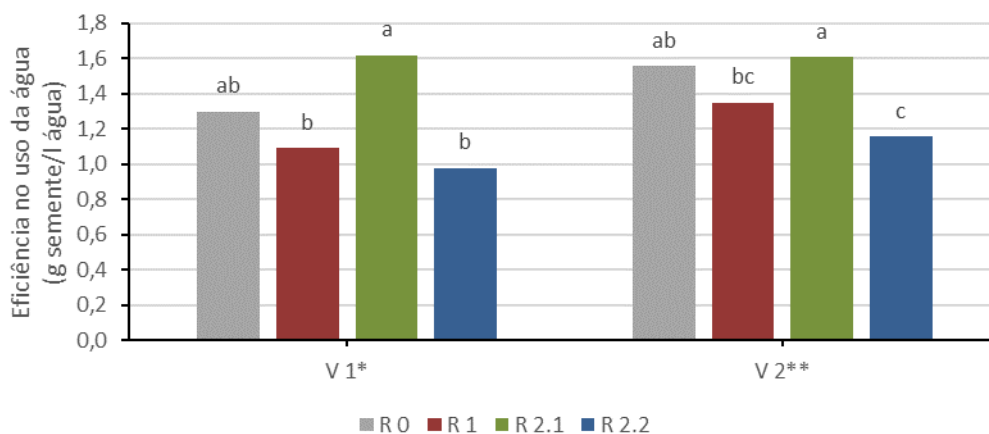


Figura 4.121. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) na eficiência no uso da água expressa em gramas de semente por litro de água utilizada.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.3.10. Eficiência no uso da água (produção de biomassa)

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,86 e um coeficiente de variação (CV) de 39%.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento;
- Tratamento x Variedade.

Variedades

A variedade V 3 foi a que apresentou a maior eficiência no uso da água média ($p < 0,05$; 4,88 g/l; Fig. 4.122).

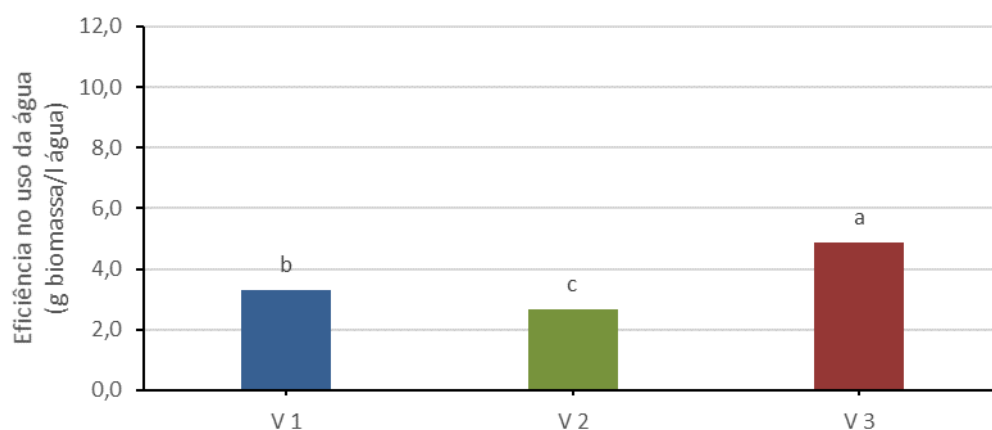


Figura 4.122. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio da eficiência no uso da água expresso em gramas de biomassa total por litro de água utilizada. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O déficit hídrico restrito à fase vegetativa (R 2.1) esteve associado ao maior valor da eficiência no uso da água ($p < 0,05$; 5,56 g/l; Fig. 4.123).

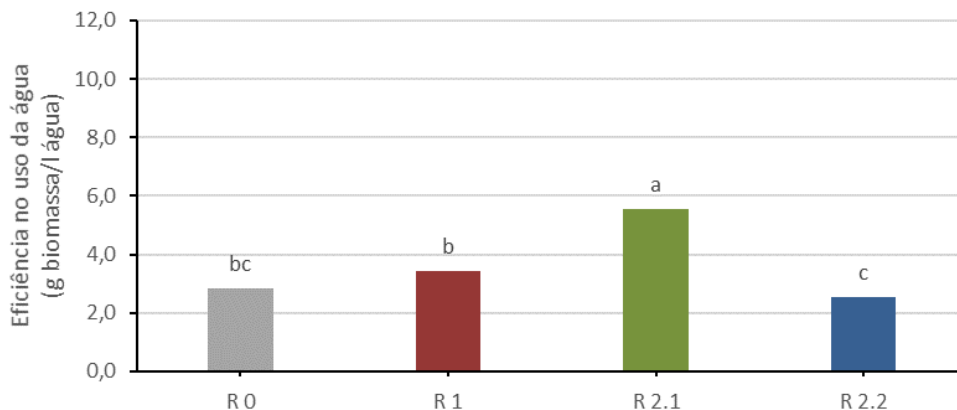


Figura 4.123. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio da eficiência no uso da água expresso em gramas de biomassa total por litro de água utilizada. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

Na variedade V 1, o maior valor médio da eficiência no uso da água ocorreu no tratamento R 1 (déficit hídrico associado a ambas as fases; 4,56 g/l; Fig. 4.124) e o menor no tratamento R 2.2 (déficit hídrico restrito à fase reprodutiva; 2,20 g/l).

Na variedade V 2, o maior valor médio ocorreu nos tratamentos R 0 (controlo; 3,08 g/l) e R 2.1 (déficit restrito à fase reprodutiva; 2,90 g/l). O menor ocorreu nos tratamentos R 1 e R 2.2 (2,38 e 2,24 g/l, respetivamente).

Na variedade V 3, o maior valor ocorreu no tratamento R 2.1 (10,40 g/l).

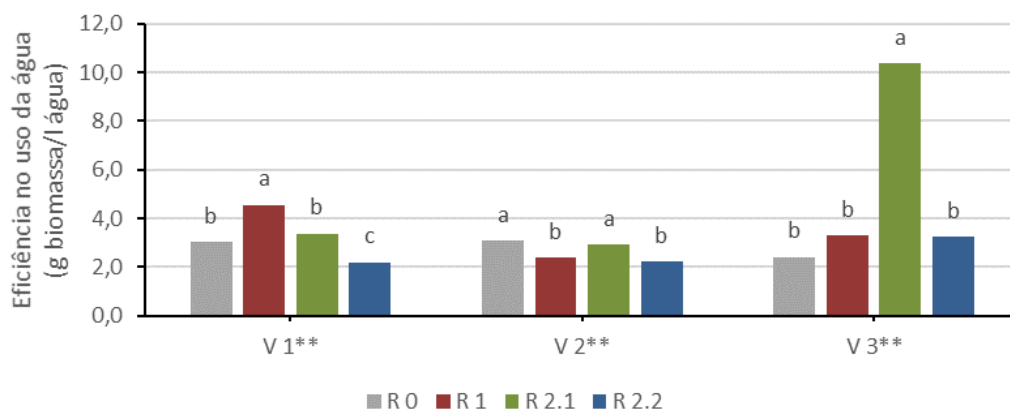


Figura 4.124. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) na eficiência no uso da água expressa em gramas de biomassa por litro de água utilizada.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

* indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,05$.

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

4.3.11. Índice de colheita

O modelo testado teve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,88 e um coeficiente de variação (CV) de 24%.

De todas as variáveis independentes incluídas no modelo, verificou-se que as seguintes eram estatisticamente significativas ($p < 0,01$):

- Variedade;
- Tratamento;
- Tratamento x Variedade.

Variedades

A variedade V 2 foi a que teve o maior ($p < 0,05$) valor médio do índice de colheita (0,53; Fig. 4.125). Seguiu-se a variedade V 1 (0,40) e, por último, a variedade V 3 (0,03).

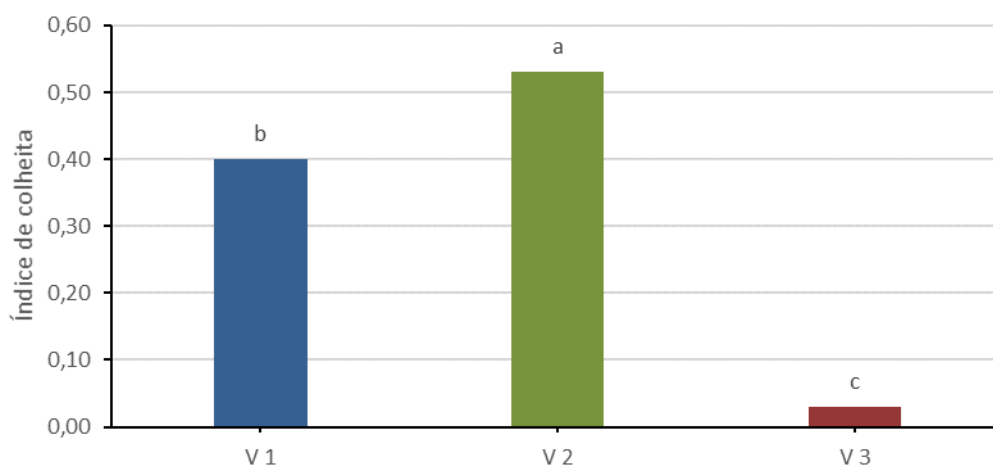


Figura 4.125. Efeito da variedade (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do índice de colheita. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Tratamentos

O déficit restrito a cada uma das fases de desenvolvimento (R 2.1 e R 2.2) resultou em valores médios do índice de colheita (0,52 e 0,47, respetivamente) maiores do que o controlo (R 0; 0,37; $p < 0,05$; Fig. 4.126). Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre esses dois tratamentos (R 2.1 e R 2.2).

Também não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre o índice de colheita das plantas que estiveram sujeitas ao déficit hídrico durante ambas as fases de desenvolvimento (vegetativa e reprodutiva; R 1; 0,41) e o controlo (R 0; 0,37).

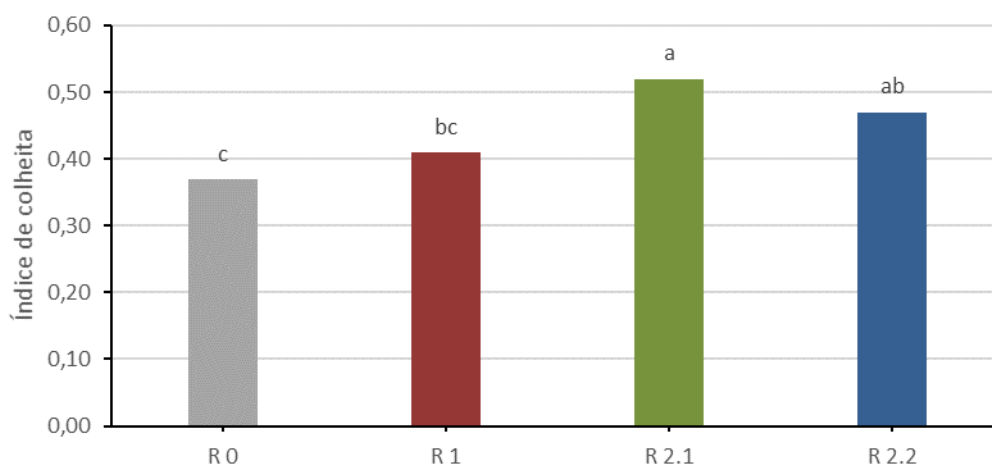


Figura 4.126. Efeito do tratamento de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) no valor médio do índice de colheita. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Interação entre os tratamentos e as variedades

O efeito dos tratamentos sobre o valor médio do índice de colheita foi diferente nas variedades V 1 e V 2 (Fig. 4.127).

Na variedade V 1, o déficit ocorrido nas duas fases de desenvolvimento (R 1) esteve associado ao valor médio do índice de colheita mais baixo ($p < 0,05$; 0,25). Não se encontraram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os restantes tratamentos.

Na variedade V 2, o maior valor médio do índice de colheita ($p < 0,05$) correspondeu aos tratamentos R 1 e R 2.1 (0,56 em ambos). Não se encontraram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre o controlo (R 0; 0,50) e o tratamento R 2.2 (0,51).

Como na variedade V 3 apenas as plantas do grupo controlo tiveram vagens na altura da colheita, optou-se por não representar o índice de colheita para essa variedade no gráfico da Figura 4.127.

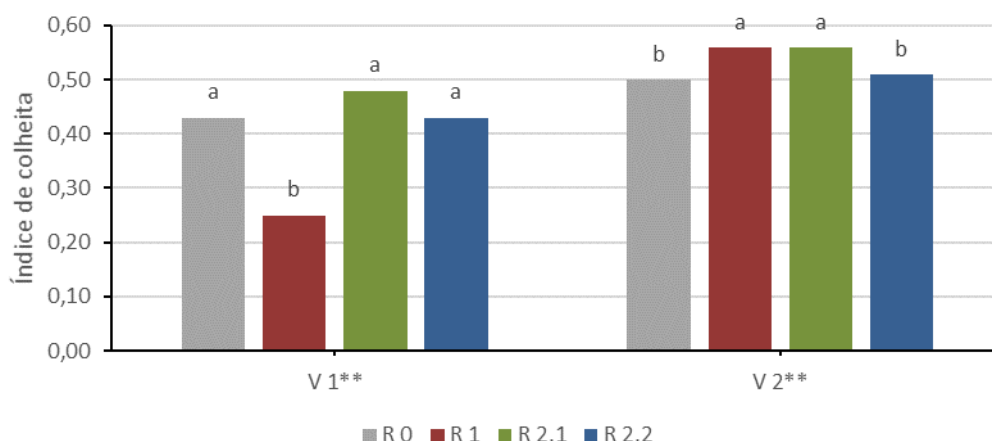


Figura 4.127. Interação entre os tratamentos de déficit hídrico (R 0, R 1, R 2.1 e R 2.2) e as variedades (V 1, V 2 e V 3) no valor médio do índice de colheita.

Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

** indica diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$.

5. Discussão

As plantas das variedades V 1 e V 2 adaptaram o seu desenvolvimento em função da disponibilidade de água. Em ambas as variedades, as plantas que estiveram sob déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa demoraram mais tempo a atingir o último estado fenológico (R 5) do que as plantas do tratamento controlo, depois das condições de conforto hídrico terem sido repostas. Por outro lado, as plantas da variedade V 1 que estiveram em conforto apenas durante a fase vegetativa atingiram o último estado fenológico (R 5) mais rapidamente após a imposição do déficit hídrico. Esta capacidade de ajustar o desenvolvimento em função da disponibilidade de água é uma das estratégias usada pelas plantas para se adaptarem a diversas situações de déficit hídrico e que foi já descrita por autores como Agbicodo et al. (2009). O déficit hídrico restringiu o crescimento das plantas em todas as variedades, o que constitui uma estratégia de adaptação destas plantas a condições hídricas desfavoráveis, tal como sugere Verbree (2012).

A variedade V 3 foi a que apresentou o maior consumo de água por dia. O déficit hídrico reduziu o consumo de água em todas as variedades, o que mostra que as plantas foram capazes de ajustar a água utilizada em função da sua disponibilidade. O fecho dos estomas terá sido um dos mecanismos utilizados para esse ajuste uma vez que o déficit hídrico esteve associado a uma diminuição da condutância estomática, o que está de acordo com autores como Anya e Herzog (2004), Verbree (2012) e Martins (2014). A colocação das folhas numa posição ereta foi outra estratégia observada nas plantas do ensaio e que também foi descrita por Akyeampong (1986), por Agbicodo et al. (2009) e por Hayatu e Mukhtar (2010). Adicionalmente, a abscisão foliar, que aumentou quando o déficit ocorreu na fase reprodutiva e que foi maior nas variedades V 1 e V 2, poderá também ter sido outra forma de as plantas reduzirem o consumo de água pois contribui para diminuir a área foliar, tal como foi observado por Verbree (2012).

Dependendo da fase em que ocorreu, o déficit hídrico teve efeitos distintos na abscisão foliar. O déficit hídrico ocorrido durante a fase reprodutiva provocou um aumento da abscisão relativamente ao controlo, à semelhança do que é referido por Akyeampong (1986). Pelo contrário, a abscisão foliar das plantas que estiveram sob déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa foi mais baixa do que a dos restantes tratamentos. Isso, em conjunto com a maior biomassa, poderá estar relacionado com uma área foliar mais elevada e, conseqüentemente, com uma maior produção de fotoassimilados.

Dos três grupos em que podem ser classificados os mecanismos utilizados pelas plantas face a situações de déficit hídrico (fuga, evitamento e tolerância), os resultados do ensaio evidenciaram o evitamento, com a abscisão foliar, o posicionamento das folhas relativamente à radiação solar e a condutância estomática. Evidenciaram também a fuga com o ajuste do desenvolvimento das plantas em função da disponibilidade de água.

A variedade V 1 foi a que produziu mais flores, sendo também a que teve maior número de vagens. O déficit ocorrido ao longo das duas fases de desenvolvimento da cultura (vegetativa e reprodutiva) reduziu o número de flores e de vagens em relação ao controlo tendo tido, por isso, um impacto negativo na produção, o que está de acordo com o que foi descrito por autores como Dadson et al. (2005) e Duzdemir et al. (2009).

Não se encontraram diferenças significativas na taxa fotossintética nem na taxa transpiratória entre variedades. Por outro lado, verificou-se que o déficit hídrico, especialmente o ocorrido durante as fases vegetativa e reprodutiva, diminuiu o valor destas duas taxas assim como o da condutância estomática, à semelhança do que foi encontrado por Anya e Herzog (2004) e por Martins (2014). Esta diminuição reflete uma das estratégias que as plantas desta espécie usam para restringirem as perdas de água em situações de déficit desse recurso: a redução da abertura dos estomas, regulada pela ação do ácido abscísico, sintetizado nas raízes, sobre as células guarda (Agbicodo et al., 2009).

Não se encontraram diferenças significativas entre variedades na concentração sub-estomática de CO₂. Nas variedades V 1 e V 2, a concentração sub-estomática de CO₂ manteve-se inalterada nos vários tratamentos. No entanto, na variedade V 3, o valor desta concentração aumentou quando as plantas foram sujeitas a déficit hídrico durante as duas fases do desenvolvimento (vegetativa e reprodutiva), à semelhança do que foi descrito por Anya e Herzog (2004).

A variedade V 3 foi a que apresentou o maior teor de clorofila. Por outro lado, as plantas que estiveram sob déficit hídrico durante as fases vegetativa e reprodutiva apresentaram um teor de clorofila maior do que o do grupo controlo, o que não está de acordo com o encontrado por Hayatu e Mukhtar (2010) que referem inclusive que a redução do teor de clorofila pode ser uma estratégia que algumas plantas adotam face ao déficit hídrico.

As plantas da variedade V 3 foram as que produziram a maior biomassa total. Por outro lado, o déficit hídrico provocou uma diminuição nesta variável dependente, à exceção do déficit restrito à fase vegetativa (variedades V 1 e V 2), que não alterou a biomassa total das plantas relativamente ao controlo, à semelhança do que é referido por Ahmed e

Suliman (2010). Esta tolerância ao déficit hídrico pode constituir uma das razões para esta cultura ser utilizada como forrageira em diversas partes do mundo (Timko et al., 2007).

A variedade V 3 foi a que apresentou a maior razão entre a biomassa radicular e a aérea, o que poderá indicar uma maior capacidade de exploração do solo e, consequentemente, uma maior capacidade de absorção de água pelas plantas desta variedade. Contudo, devido ao atraso no desenvolvimento destas plantas, não se conseguiu confirmar o efeito que isso teria na produção. Por outro lado, sendo este um ensaio em vasos, o volume de solo disponível para as raízes é limitado o que reduz o impacto de eventuais diferenças entre variedades ou tratamentos no desenvolvimento radicular.

As variedades V 1 e V 2 apresentaram um número de sementes por planta e um número de vagens por planta semelhante entre si e maior do que a variedade V 3.

O déficit hídrico imposto em ambas as fases (vegetativa e reprodutiva) esteve associado a uma diminuição do número de sementes e de vagens produzidas por planta, assim como do número de sementes por vagem, tal como foi salientado por Duzdemir et al. (2009) e por Ahmed e Suliman (2010). O déficit restrito à fase vegetativa não provocou uma diminuição relativamente ao controlo do número de sementes por planta nem no número de vagens por planta com exceção, nesta última variável, da variedade V 2. No entanto, mesmo nessa variedade, a diminuição foi menos acentuada do que a que se verificou nos restantes tratamentos sujeitos a déficit hídrico.

O peso de mil sementes da variedade V 3 foi menor do que o das restantes variedades, o que pode explicar o facto do peso das vagens das plantas dessa variedade ser menor do que o das variedades V 1 e V 2, apesar de a variedade V 3 apresentar um maior número de sementes por vagem do que as variedades V 1 e V 2. Apenas se encontraram diferenças significativas no peso de mil sementes entre tratamentos na variedade V 1, onde o maior valor correspondeu às plantas que estiveram sob déficit hídrico durante ambas as fases de desenvolvimento, o que vai ao encontro do que foi descrito por Duzdemir et al. (2009).

As variedades V 1 e V 2 tiveram um peso das sementes por planta semelhante e cerca de dez vezes superior ao da V 3, devido principalmente ao maior número de vagens produzidas pelas variedades V 1 e V 2. Essa diferença entre variedades não pode ser explicada pela taxa fotossintética já que não foram encontradas diferenças significativas nessa variável entre as três variedades. Tanto na variedade V 1 como na V 2 não se observaram diferenças significativas nem no peso das sementes nem no peso das vagens entre as plantas sujeitas a déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa e as plantas controlo, o que está de acordo

com o que foi encontrado por Akyeampong (1986) e por Daryanto et al. (2015). Por outro lado, o déficit hídrico restrito à fase reprodutiva e o que abrangeu ambas as fases provocaram uma diminuição do peso das sementes e das vagens produzidas, à semelhança do que é referido por Dadson et al. (2005) e por Ahmed e Suliman (2010).

O maior peso das sementes produzidas pelas plantas em que o déficit hídrico se restringiu à fase vegetativa, relativamente aos outros dois tratamentos em que as plantas estiveram sujeitas a déficit hídrico, poderá estar relacionado com o número de vagens e com o número de sementes por planta, que foi maior nesse tratamento do que nos restantes que estiveram sob déficit hídrico. Pelo contrário, o déficit hídrico ocorrido durante as fases vegetativa e reprodutiva provocou a diminuição no número de vagens produzidas, à semelhança do que foi encontrado por Duzdemir et al. (2009) e por Ahmed e Suliman (2010).

A eficiência no uso da água expressa em gramas de semente por litro de água utilizada das plantas da variedade V 3 foi muito baixa, não porque o consumo de água pelas plantas dessa variedade tenha sido especialmente elevado, mas porque a sua produção foi muito reduzida, uma vez que mais de 90% das plantas desta variedade não completaram o seu ciclo de vida. No entanto, quando a eficiência no uso da água foi calculada através do quociente entre a biomassa total produzida e a água utilizada, a variedade V 3 foi a que apresentou o maior valor devido à sua elevada produção de biomassa.

As plantas sujeitas a déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa tiveram uma eficiência no uso da água expressa em gramas de semente por litro de água utilizada maior do que a das restantes plantas, incluindo as do grupo controlo. De facto, embora a água utilizada pelas plantas que estiveram sob déficit hídrico durante a fase vegetativa tenha sido menor, não se registaram diferenças significativas entre a produção dessas plantas e as do grupo controlo, que foram mantidas em conforto durante todo o ensaio, em nenhuma das variedades. Pelo contrário, os restantes três tratamentos tiveram eficiências no uso da água mais baixas, o que vai ao encontro do que é referido por Ahmed e Suliman (2010) e por Abdou Razakou et al. (2013).

O índice de colheita foi maior na variedade V 2 do que na variedade V 1, não porque a sua produção tenha sido maior (não se encontraram diferenças significativas entre o peso das sementes por planta nessas duas variedades), mas porque a biomassa das plantas da variedade V 2 foi menor do que a das plantas da variedade V 1. As plantas que estiveram sob déficit hídrico apenas durante a fase vegetativa apresentaram um índice de colheita semelhante ou maior do que as que estiveram sob conforto durante todo o ciclo.

6. Conclusão

A variedade V 3 não se adaptou bem às condições do ensaio uma vez que mais de 90% das plantas não atingiram o último estado do desenvolvimento durante os 147 dias em que o ensaio decorreu.

As variedades V 1 e V 2 tiveram respostas muito semelhantes na maior parte dos parâmetros avaliados. No entanto, a variedade V 1 teve uma maior biomassa total do que a variedade V 2. Pelo contrário, a variedade V 2 utilizou menos água, atingiu uma maior altura e teve um maior índice de colheita do que a variedade V 1. Ambas as variedades ajustaram o seu desenvolvimento em função da disponibilidade de água.

O déficit hídrico ocorrido em ambas as fases do desenvolvimento diminuiu a taxa fotossintética. O fecho dos estomas deverá ter sido um dos mecanismos responsáveis por essa diminuição.

O déficit hídrico ocorrido apenas na fase vegetativa não provocou alterações significativas relativamente ao controlo na maior parte das componentes de rendimento, ao contrário dos restantes tratamentos. Dessa forma, a restrição no fornecimento de água à cultura durante essa fase parece ser uma forma de poupar este recurso sem perdas apreciáveis de rendimento.

A maior parte dos parâmetros analisados apresentaram diferenças entre tratamentos relativamente aos efeitos do déficit hídrico. No entanto, pela importância dos resultados obtidos e pelas diferenças que evidenciaram, salientam-se os seguintes: água utilizada, taxa fotossintética, eficiência no uso da água, biomassa total, número de vagens por planta, número de sementes por vagem, peso de mil sementes, índice de colheita e peso de sementes produzidas por planta.

Um estudo mais aprofundado sobre os mecanismos de tolerância envolvidos nas respostas ao déficit hídrico poderia contribuir para um enriquecimento deste tema. Seria também interessante determinar o nível de déficit hídrico que pode ser suportado pelas plantas sem que haja uma diminuição significativa do seu rendimento.

7. Bibliografia

Abdou Razakou, I. B., Addam Kiari, S., Mensah, B. Akromah, R. (2013). Water stress and water use efficiency in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] under controlled environment. *Int. J. Agric. Sci. Res.*, 2(5): 191-199.

Agbicodo, E. M., Fatokun, C. A., Muranaka, S. e Visser, R. G. (2009). Breeding drought tolerant cowpea: constraints, accomplishments, and future prospects. *Euphytica*, 167: 353-370.

Ahmed, F. E. e Suliman, A. S. (2010). Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water use efficiency of cowpea. *Agric. Biol. J. N. Am.*, 1(4): 534-540.

Akyeampong, E. (1986). Some responses of cowpea to drought stress. In Haque, I., Jutzi, S. e Neate, P. J. (Ed.). Potentials of forage legumes in farming systems of sub-Saharan Africa. Proceedings of a workshop held at ILCA, Addis Abeba, Ethiopia, 16-19 September 1985. Addis Abeba: ILCA. Disponível em 21-09-2017 em <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5488e/x5488e00.htm#Contents>

Alexandratos, N. e Bruinsma, J. (2012). *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. Consultado em 21-09-2017 em <http://www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf>

Anyia, A. O. e Herzog, H. (2004). Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *Europ. J. Agronomy*, 20: 327-339.

Badiane, F. A., Diouf, D., Sané, D., Diouf, O., Goudiaby, V. e Diallo, N. (2003). Screening cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] varieties by inducing water deficit and RAPD analyses. *African Journal of Biotechnology*, 3(3): 174-178.

Banco Português de Germoplasma Vegetal (BPGV) (s.d.). *Banco Português de Germoplasma Vegetal*. Consultado em 21-11-2017 em http://www.inia.pt/fotos/editor2/inia/historia_bpgv.pdf

Boukar, O., Fatokun, C. A., Huynh, B., Roberts, P. A. e Close, T. J. (2016). Genomic tools in cowpea breeding programs: status and perspectives. *Front. Plant Sci.*, 7(757).

Campos, F. L., Freire Filho, F. R., Lopes, A. C., Ribeiro, V. Q., Silva, R. Q. e Rocha, M. M. (2000). Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.): uma escala de desenvolvimento. *Rev. Cient. Rural*, 5(2): 110-116.

Condé Nast. (2014). *Cowpeas, common (blackeyes, crowder, southern), mature seeds, cooked, boiled, without salt*. Consultado em 21-09-2017 em <http://nutritiondata.self.com/facts/legumes-and-legume-products/4332/2?mbid=ndhp>

Dadson, R. B., Hashem, F. M., Javaid, I., Joshi, J., Allen, A. L. e Devine, T. E. (2005). Effect of water stress on the yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes in the Delmarva region of the United States. *J. Agronomy & Crop Science*, 191: 210-217.

Duzdemir, O., Unlukara, A. e Kurunç, A. (2009). Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to salinity and irrigation regimes. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 37: 271-280.

European Food Information Council. (2006). *EUFIC*. Consultado em 21-09-2017 em <http://www.eufic.org/>

FAO. (2016). *FAOSTAT*. Consultado em 21-09-2017 em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

Fatokun, C. A., Tarawali, S. A., Singh, B. B., Kormawa, P. M. e Tamò, M. (2002). *Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production*. Proceedings of the World Cowpea Conference III held at International Institute of Tropical Agriculture (IITA) 4-8 September 2000. Ibadan, Nigéria.

Hayatu, M. e Mukhtar, F. B. (2010). Physiological responses of some drought resistant cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to water stress. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2): 69-75.

International Institute of Tropical Agriculture (IITA) (2017). *Our Story*. Consultado em 21-11-2017 em <http://50years.iita.org/index.php/our-story/>

Kovats, R. S., Valentini, R., Bouwer, L. M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E. e Soussana, J. F. (2014). *Europe*. In Barros, V. R., Field, C. B., Dokken, D. J., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Bilir, T. E. e White, L. L. (Edits.). *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 1267-1326). Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Liga para a Protecção da Natureza (LPN) (2014). *Alterações climáticas: preparar Portugal*. Disponível em 21-09-2017 em http://www.lpn.pt/Backoffice/UserFiles/menu_lpn/CI/2014/PrepararPortugal2014.pdf

Martins, C. M. (2014). *Characterizing four cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) mozambican landraces deposited in a seed bank for drought tolerance*. Tese de Doutoramento. Faculty of Natural and Agricultural Sciences. University of Pretoria. Pretória, África do Sul.

Martins, C., Lawlor, D., Quilambo, O. e Kunert, K. (2014). Evaluation of four mozambican cowpea landraces for drought tolerance. *South African Journal of Plant and Soil*, 31(2): 87-91.

National Institute of Health. (2016). *Daily value*. Consultado em 21-09-2017 em <https://www.dslid.nlm.nih.gov/dslid/dailyvalue.jsp>

National Research Council (US) Subcommittee on the Tenth Edition of the Recommended Dietary Allowances (1989). *Recommended Dietary Allowances* (10.^a ed.). Washington (DC): National Academies Press. Consultado em 21-09-2017 em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234922/>

Nielsen, S. S., Ohler, T. A. e Mitchell, C. A. (1997). *Cowpea leaves for human consumption*. In Singh, B. B., Mohan Raj, D. R., Dashiell, K. E. e Jackai, L. E. (Ed.). *Advances in cowpea research* (pp. 326-332). Devon: Sayce Publishing.

PortFIR. (s.d.). *Composição de alimentos*. Consultado em 21-09-2017 em <http://portfir.insa.pt/foodcomp/introduction>

Royal Botanic Gardens (s.d.). *Vigna unguiculata (cowpea)*. Disponível em 21-09-2017 em <http://www.kew.org/science-conservation/plants-fungi/vigna-unguiculata-cowpea>.

Shah, N. H. e Paulsen, G. M. (2003). Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil*, 257: 219-226.

Timko, M. P., Ehlers, J. D. e Roberts, P. A. (2007). 3. *Cowpea*. In Kole, C. (Ed.). *Genome mapping and molecular breeding in plants. Volume 3: Pulses, sugar and tuber crops* (pp. 49-67). Berlim: Springer-Verlag.

Verbree, D. A. (2012). *Physiology and genetics of drought tolerance in cowpea and winter wheat*. Tese de Doutoramento. Texas A&M University. Texas, Estados Unidos da América.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q e Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *Int. J. Mol. Sci.*, 14: 7370-7390.